

21



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

DETERMINACION DE PROPIEDADES DE
CAPTACION DE AGUA DE DOS TIPOS DE
FIBRAS DIETETICAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
ROCIO ROMERO GARCIA

ASESORA: M. EN C. MA. DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO. 2001.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

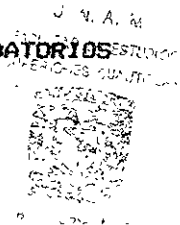
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL
 AVENIDA DE
 MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
 P R E S E N T E .

AT'N: Q. MA. DEL CARMEN GARCIA MIJARES
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Determinación de Propiedades de Captación de Agua de dos tipos de
Fibras Dietéticas

que presenta la pasante: Rocío Romero García
 con número de cuenta: 9352629-4 para obtener el TITULO de:
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 7 de junio de 2001

| | | |
|------------------|--|--|
| PRESIDENTE | <u>M. en C. Rosa M. Arriaga Orihuela</u> | |
| VOCAL | <u>I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez</u> | |
| SECRETARIO | <u>M. en C. Ma de la Luz Zambrano Zaragoza</u> | |
| PRIMER SUPLENTE | <u>I.A. Rosalía Meléndez Pérez</u> | |
| SEGUNDO SUPLENTE | <u>Dr. José Luis Arjona Román</u> | |

DEDICATORIAS

A la M. En C. Ma de la Luz Zambrano Zaragoza gracias por su asesoramiento para la realización de ésta tesis; por sus enseñanzas, apoyo y confianza en mí.

A los profesores que conformaron el jurado gracias por su interés en el mejoramiento de éste trabajo. I.B.Q. Rosa Manuela Arriaga Orihuela, I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez, I.A. Rosalía Meléndez Pérez, Dr. José Luis Arjona Román

A la Universidad Nacional Autónoma de México, cuyo trabajo es el resultado de la formación académica y profesional que he recibido.

A mi madre Rosa García Hidalgo gracias por estar a mi lado en los grandes momentos de mi vida.

A mis hermanos, Mauro, Alberto, Oscar René q.e.p.d., Germán, Carlos Ivan y Elliot Jesús, en forma especial a Carlos Ivan y Elliot Jesús para que este trabajo sirva de ejemplo e inspiración para su vida.

A mis tías Guadalupe, Ma Elena y Teresita que gracias a su apoyo, consejos y cariño he podido lograr esta meta.

A todos mis primos, pero en forma especial a Anita y David gracias por su cariño y compañía.

A mis compañeros de la Universidad Maribel, Anabel, Carlos y Miguel Angel por los buenos y malos momentos que compartimos durante la carrera, en forma especial a Miguel Angel por ser mi amigo inseparable.

A Julio Ramírez Arriaga por motivarme a concluir este trabajo como muestra de su cariño.

INDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| INDICE GENERAL | 1 |
| RESUMEN | |
| INTRODUCCION | 1 |
| OBJETIVO GENERAL | 3 |
| Objetivos Particulares | 3 |
| 1.- ANTECEDENTES | 4 |
| 1.1.-GENERALIDADES SOBRE FIBRA DIETEICA | 4 |
| 1.1.1.- Definiciones | 4 |
| 1.1.2.- Clasificación de fibra dietética de acuerdo a su solubilidad en agua | 6 |
| 1.1.3.- Fuentes, componentes y requerimientos de fibra dietética | 7 |
| 1.1.4.- Psyllium como fuente de FDS v.s. cascarilla de maíz como fuente de FDI | 12 |
| 1.1.5.- Propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética | 13 |
| 1.2.- AGUA EN LOS ALIMENTOS | 16 |
| 1.2.1.- Importancia del agua en los alimentos | 16 |
| 1.2.2 - Tipos y definición del agua presente en los alimentos | 17 |

| | | |
|---------|---|----|
| 1.2.3.- | Conceptualización de A_w | 19 |
| 1.2.4.- | Efecto de la $^{\circ}T$ sobre la A_w | 21 |
| 1.2.5.- | A_w y estabilidad de los alimentos | 22 |
| 1.3.- | ISOTERMAS DE SORCIÓN EN ALIMENTOS | 28 |
| 1.3.1.- | Definición de isoterma de sorción | 28 |
| 1.3.2.- | Tipos de isotermas de sorción | 31 |
| 1.3.3.- | Clasificación de isotermas de acuerdo a su forma | 32 |
| 1.3.4.- | Efecto de la temperatura sobre la isoterma | 34 |
| 1.3.5.- | Histéresis | 36 |
| 1.3.6.- | Importancia tecnológica de las isotermas de sorción | 38 |
| 1.3.7.- | Métodos para la construcción de isotermas | 39 |
| 1.3.8.- | Descripción teórica de las isotermas | 40 |
| 2.- | METODOLOGIA EXPERIMENTAL | 41 |
| 2.1.- | Descripción del cuadro metodológico | 41 |
| 2.2.- | Desarrollo experimental | 43 |
| 2.2.1.- | Materias primas | 43 |
| 2.2.2.- | Actividades previas | 44 |
| 2.2.3.- | Caracterización de las fibras | 45 |
| 2.2.4.- | Construcción de isotermas | 46 |
| 2.2.5.- | Determinación de valor de monocapa | 47 |
| 2.2.6.- | Determinación de calor de sorción | 47 |

| | |
|--|----|
| 3.- RESULTADOS Y DISCUSION | 48 |
| 3.1.- Caracterización de las fibras dietéticas | 48 |
| 3.2.- Isotermas de adsorción | 50 |
| 3.3.- Humedad de monocapa | 52 |
| 3.4.- Calor de sorción | 54 |
| 4.- CONCLUSIONES | 58 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 60 |
| NOMENCLATURA | 67 |

RESUMEN

Este trabajo se realizó con la finalidad de conocer el valor de máxima estabilidad de dos tipos de fibras dietéticas (cascarilla de maíz y psyllium) a partir del ajuste de las isotermas obtenidas a tres temperaturas (3, 20 y 37) y a HRE con la ecuación de monocapa de BET, así como el calor de sorción de éstas a partir de la linealización de la ecuación de Clausius Clapeyron e inferir sobre su estabilidad y funcionalidad de las mismas.

Para lograr esto fue necesario evaluar inicialmente la humedad, el tamaño medio de partícula y el contenido de FDS, FDI y FDT de las fibras dietéticas; ya que las propiedades fisicoquímicas de las fibras pueden verse afectadas por la composición química y el tamaño medio de partícula de las mismas (8, 20, 31, 44).

Los valores promedio de humedad de las fibras indicaron que estos alimentos se consideran de humedad baja por presentar valores de 7.1% para la cascarilla de maíz y 5.1% para el psyllium.

En cuanto al tamaño medio de partícula se obtuvo un valor promedio de 737.05 μm para el psyllium y 809.29 μm para la cascarilla de maíz; en función a esto se observó una mayor absorción de agua por parte del psyllium a altos valores de A_w con respecto a la cascarilla de maíz tal y como lo describe Cadden, 1987; una reducción en el tamaño de partícula incrementa el área superficial y la cantidad total de agua que la fibra puede ligar.

Con respecto a la determinación del contenido de FDS, FDI y FDT, se obtuvo un valor promedio de FDS para el psyllium de 85% y de FDI de 0.855% con un valor de FDT de 85.855% constituida principalmente de polisacáridos solubles como mucilago y pectina; en cuanto a la cascarilla de maíz el valor obtenido de

FDS fue de 1.055% y de FDI de 53.19 con un valor de FDT de 54.245 constituida principalmente de celulosa, hemicelulosa y almidón

Como segunda etapa se procedió a construir las isotermas de adsorción a intervalos de A_w de 0.1 a 0.9 y con los valores promedio de humedad que absorbieron las fibras a tres temperaturas diferentes. (3, 20 y 37 °C)

Las isotermas obtenidas obedecen el tipo III (Fig. 9 y 10) tal y como lo describe Labuza 1968. Las diferencias entre las isotermas del psyllium y la cascarilla de maíz son en cuanto a la velocidad con la que absorben el agua ya que el psyllium fue capaz de absorber más agua a altos niveles de A_w mientras que a niveles bajos e intermedios de A_w la absorción fue muy similar.

Debido a la influencia de la temperatura tenemos en las figuras 9 y 10 que a una misma A_w en la cascarilla de maíz se disminuye la cantidad de agua absorbida conforme aumenta la temperatura de 20 a 37°C como consecuencia de la movilidad de las moléculas que ocasionan que el alimento pierda higroscopicidad; mientras que en el psyllium no se observa tal disminución en función de la temperatura dada su composición cuyos componentes se solubilizaron y se volvieron más higroscópicos.

Como tercera etapa se procedió a ajustar las isotermas obtenidas por medio de la ecuación de BET y así obtener el valor de máxima estabilidad de las fibras, teniéndose un valor de monocapa para el psyllium de 5.98 g agua/g.s.s. y de 4.81 g agua/g.s.s para la cascarilla de maíz. El valor de monocapa para el psyllium no mostró una disminución con respecto a la $^{\circ}T$ ya que se solubilizo formando geles que son función de la temperatura y que afectan la estabilidad de esta fibra en las condiciones evaluadas.

El calor de sorción obtenido a partir de la linealización de la ec. Clausius Clapeyron mostró que a humedades bajas el psyllium requiere de menos energía para la absorción de agua con respecto a la cascarilla de maíz dada su excelente capacidad de hidratación, mientras que a valores altos de humedad no se observa la disminución del calor de sorción con respecto a la cascarilla de maíz ya que sigue requiriendo energía para la interacción agua-polímero.

Se concluye por tanto que el psyllium es más inestable en el intervalo de temperaturas de estudio con respecto a la cascarilla de maíz y que deberá requerir de mayor cuidado durante el almacenamiento ya que si no se elige el método adecuado se verán modificadas su propiedades y funcionalidad.

Así mismo en cuanto a los valores de calor de sorción obtenidos es posible asociar el psyllium debido a sus valores bajos de Q_s con respecto a la cascarilla de maíz con funciones fisiológicas tales como aumentar la viscosidad del bolo alimenticio para tratar enfermedades de obesidad, costipación del colón y cardiovasculares, mientras que la cascarilla de maíz por mostrar valores altos de calor de sorción con respecto al psyllium deberá asociarse a la función de aumentar el bolo alimenticio y disminuir el tiempo de tránsito intestinal.

En alimentos el psyllium podrá ser utilizado como agente texturizante, mientras que la cascarilla de maíz podrá incorporarse en alimentos a base de cereales.

INTRODUCCION

El agua en los alimentos juega un papel muy importante al contribuir a la forma propiedades físicas y químicas de los mismos, siempre y cuando mantengamos bajo nuestro control los fenómenos de transferencia de masa, energía, reacciones químicas y actividad de los microorganismos que se involucran en la interacción agua-alimento. (11,35)

En la mayoría de las operaciones a las que sometemos al alimento se tiene por objeto la disminución de la disponibilidad del agua para mantener estabilizado el alimento durante su procesamiento, almacenamiento y distribución. (35)

Uno de los conceptos físicoquímicos que nos ayudan a determinar la relación del agua con los alimentos es la A_w , término que relaciona la presión de agua del alimento y la presión de vapor de agua pura a una misma temperatura y presión; puede expresarse también como el porcentaje de humedad relativa a la cual un alimento está en equilibrio dividido entre 100. (11,19, 22, 23, 25, 33, 36, 44)

La forma en la que es posible relacionar la A_w de los alimentos y su humedad a temperatura constante es por medio de las isotermas de sorción que son representaciones gráficas del comportamiento que muestra un alimento ya sea al ganar o perder agua a humedades relativas de equilibrio. (2,11,19, 22, 23)

Además por medio de estas isotermas es posible determinar el grado de unión del alimento con el agua por medio del concepto de valor de monocapa el cual es una medida de la máxima estabilidad de los alimentos en condiciones de equilibrio, así como la energía necesaria requerida por el alimento para unirse con el agua que se establece en la Ecuación de Clausius Clapeyron.

(9,10,11,19, 22, 25, 30, 33, 34)

Es por ello que en el presente trabajo se abarca el estudio de las isothermas de adsorción de dos fibras dietéticas (cascarilla de maíz y psyllium) para determinar la estabilidad y funcionalidad de las mismas; a partir del cálculo del valor de monocapa y la energía necesaria para la absorción.(Qs)

El desconocimiento de las isothermas de adsorción de las FD conllevaría al mal manejo de almacenamiento de las mismas, ocasionándose su deterioro, provocado por la inestabilidad física, química, microbiológica y enzimática al absorber o perder agua a diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura, afectándose por tanto su funcionalidad. (22, 23, 28, 35)

En estudios anteriores se ha tratado de relacionar las propiedades fisicoquímicas de diversas fibras dietéticas con relaciones termodinámicas para determinar la estabilidad durante su almacenamiento y así inferir sobre la funcionalidad de las mismas. (7, 8, 12, 13, 37, 38, 46, 49, 50, 51, 52)

OBJETIVO GENERAL

Determinar y analizar las propiedades termodinámicas relacionadas con el agua de dos tipos de fibras dietéticas (fibra dietética insoluble; cascarilla de maíz y fibra dietética soluble; psyllium) ; construyendo isotermas de adsorción a humedades relativas de equilibrio y a tres diferentes temperaturas; para correlacionarlas con la estabilidad y funcionalidad de las mismas a partir de la obtención de la humedad de monocapa y los calores de sorción de cada fibra.

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.- Obtener la ganancia de peso en base seca de los dos tipos de fibras dietéticas, sometiéndolas a tres diferentes temperaturas (3, 20 y 37°C) y a humedades relativas de equilibrio para construir las isotermas de adsorción.
- 2.- Determinar el valor de monocapa por la Ecuación de BET y el calor de sorción con la Ecuación de Clausius Clapeyron de las fibras dietéticas para establecer la estabilidad y funcionalidad de las mismas.

1.-ANTECEDENTES

1.1.-GENERALIDADES SOBRE FIBRA DIETÉTICA

1.1.1.-Definiciones

Durante la década de los 70's surgió un gran interés por parte de investigadores británicos sobre la forma en la cual debería definirse a aquellas sustancias que no aportan nutrimento en la dieta pero que tienen una función fisiológica de suma importancia, conocidas con el término de *fibra cruda* "Residuo que se obtiene al tratar un alimento con solventes ácidos y álcalis" (3, 6,14,43), definición que no tiene aplicación directa sobre la nutrición humana, ya que durante el proceso de digestión no existe un tratamiento tan drástico; además que durante tal tratamiento se remueven grandes cantidades de hemicelulosa, celulosa y lignina haciendo aún más imprecisa esta denominación; es por lo que a partir de 1953 se introduce el término de " fibra dietética " para referirse a éste tipo de compuestos presentes en los alimentos. Así ; fue durante ésta época cuando Burkitt y Trowell observaron que la incidencia de ciertas enfermedades como cáncer rectal y de colon, diverticulosis, hemorroides, irritación intestinal, colesterol, cálculos biliares, diabetes, entre otras, era menor en algunos países de África, mientras que en los países occidentales aumentaba cada día más; concluyendo que la diferencia se encontraba en la cantidad de fibra dietética que incluía cada una de las dietas. Por todo lo anterior la fibra dietética está atrayendo cada vez más la atención a la comunidad científica y en forma especial a nutriólogos y tecnólogos en alimentos. (6, 14, 27, 43)

El término "fibra" en sentido estrictamente botánico se refiere a la rigidez de las células constituyentes de la pared vegetal (14, 42,43). Desde el punto de vista medico-nutricional la "fibra dietética" se define como aquella que es resistente a las enzimas digestivas del cuerpo humano y que tiene funciones terapéuticas tales como: evitar el estreñimiento, mejorar el metabolismo de grasas y azúcares, entre otras. (14,16,17, 27)

Químicamente la fibra dietética se define como la suma de polisacáridos tales como: celulosa, hemicelulosa, pectina, gomas, mucílagos, oligosacáridos; y no polisacáridos y lignina; los cuales no son digeridos por las secreciones del tracto gastrointestinal humano. (14)

El almidón quizás es ligeramente resistente a la alfa-amilasa por lo que no es oficialmente un componente de la FD. Bacterias intestinales quizás pueden degradar parcialmente a la FD produciendo ácidos grasos volátiles y otras sustancias absorbidas por el intestino largo afectando la actividad funcional del colon y el recto. (14)

Existen algunos otros términos para definir a la FD dentro de las cuales tenemos a las siguientes:

A).- "carbohidratos no disponibles": suma de polisacáridos no amiláceos y lignina resistentes a la digestión de secreciones gastrointestinales". (14)

B).- "carbohidratos complejos" definición que incluye a la FD y al almidón, entre otros. Sin embargo algunos autores creen que en el término de fibra dietética debieran incluirse todos los compuestos químicos naturalmente asociados con

la FD y concentrados alrededor de los polímeros estructurales; tales como fitatos, materiales nitrogenados, almidón resistente, lípidos complejos indisponibles, algunos compuestos resultantes del oscurecimiento no enzimático (reacción de Maillard), ciertos minerales, y aún metales en cantidades trazas tales como cromo y zinc. (14,20)

Actualmente en versión analítica se utiliza el término de " fibra dietética total " (TDF) para incluir a la fibra dietética soluble y a la fibra dietética insoluble. (14, 21)

1.1.2.-Clasificación de fibra dietética de acuerdo a su solubilidad en agua

La fibra se presenta en dos variedades diferentes: fibra soluble e insoluble y aunque la mayoría de los alimentos contienen ambos tipos, algunos tienen más de una que de la otra.

A) Fibra dietética soluble: Se encuentra principalmente en frutas. Su principal componente es la pectina, y en menor cantidad tenemos gomas y celulosa.

(21, 27, 52)

Dentro de las propiedades que tiene la FDS podemos mencionar las siguientes:

- 1.-Protección contra enfermedades cardiovasculares por disminución de absorción de colesterol.
- 2.- Aumento de la viscosidad de los jugos gástricos del estómago disminuyendo la velocidad de mezclado y absorción de nutrimentos, en especial de carbohidratos; razón por la cual se utiliza como tratamiento de la obesidad.
- 3.- Su digestibilidad en el colon, que es apreciable para las pectinas, las gomas y los mucílagos.

Desde el punto de vista de aplicación en alimentos la viscosidad y la gelación son propiedades básicas atribuibles a la FD soluble.(14, 21, 31, 43, 47)

B) Fibra dietética insoluble: Se encuentra principalmente en semillas no refinadas de los cereales (productos integrales). Sus componentes son celulosa, hemicelulosa y lignina. (21,27,52)

Dentro de las propiedades que tiene la FDI podemos mencionar las siguientes:

1.-Capacidad de absorción de agua, que hace aumentar el volumen del bolo digestivo y por lo tanto su desplazamiento, evitando el estreñimiento, y por lo tanto previniendo el cáncer de colon.

2.-Su capacidad para combinarse con otros componentes de la dieta, como los minerales.

La lignina, en menor grado que la celulosa y la hemicelulosa arrastran ácidos biliares en las heces.(14,16,17,21,43,52)

Desde el punto de vista de aplicación en alimentos la FDI puede ser empleada como ingrediente en la formulación de productos a base de cereales.

1.1.3.-Fuentes, componentes y requerimientos de fibra dietética.

Fuentes

La fibra dietética se puede obtener en forma natural de la pared de las células parenquimatosas, tejido lignificado y tejidos de la cutícula de frutas, hortalizas, cereales y semillas; de algunos alimentos industrializados en los que se usan gomas, péctinas y mucílagos como aditivos para mejorar la textura y consistencia de los productos (polisacáridos estructurales y no estructurales), y de polisacáridos provenientes de algas.

En la tabla 1 se observa la clasificación de las fuentes de fibra en alimentos de acuerdo a su categoría, clase principal y polisacárido presente en los alimentos. (14,27,52)

Tabla 1 Polisacáridos Dietéticos

| Categoría General | Clases Principales | Tipo de polisacáridos presentes |
|-------------------|--|--|
| De Reserva | Almidones | Amilosa Amilopectina Dextrinas |
| Estructurales | Glucógeno Fructanos Galactomanos Celulosa No celulósicos | Inulina Goma guar Sustancias Pécicas Hemicelulosa |
| No estructurales | Gomas Mucilagos Péctinas | |
| De algas | Sin sulfatar Sulfatadas | Alginatos Agar Carragenato |

Dreher, 1987

Componentes

Así mismo es posible clasificar los polisacáridos dietéticos presentes en las fuentes de fibras dietéticas en: (14, 27,52)

Convencionales

Los componentes convencionales de la fibra dietética son aquellos que están relacionados con las funciones de la planta y se clasifican en:

- 1.-Polisacáridos estructurales: Están relacionados con la pared celular y se incluyen a la celulosa y hemicelulosa.
- 2.-No Polisacáridos estructurales: Lignina.
- 3.- Polisacáridos no estructurales: Se incluyen gomas y mucilagos secretados por las células de las plantas.

a) Celulosa

Comprende del 20 al 50 % de la materia seca de los alimentos fibrosos, tales como vegetales y cereales; generalmente se encuentra en combinación con la hemicelulosa, la lignina y la pectina formando una matriz compleja.

Polisacárido lineal de alto peso molecular que consta de unidades de β -1,4 glucosa, con unidades de glucosa de 300 a 15,000 que varían dependiendo de la fuente de la celulosa y del método utilizado para aislarla. (14,21,52)

b) Hemicelulosa

Consiste de una mezcla de polímeros de unidades de azúcares con unidades comunes constituidas de galactosa, arabinosa y ácido urónico, generalmente metilados.

La hemicelulosa se clasifica de acuerdo al método de extracción en:

- 1) hemicelulosa "A", consistente de fracciones de gluconoxilanos, precipitados después del tratamiento con ácido acético.
- 2) hemicelulosa "B", fracciones que incluyen galactanos y arabinoxilanos, precipitados con etanol.
- 3) hemicelulosa "C" obtenida por extracción con álcali fuerte. (14,21,27,52)

c) Sustancias pécticas

Compuestas principalmente de cadenas de unidades de ácido galacturónico unidas por enlaces alfa 1,4 glucosídicos y rannosa, que pueden contener además otro tipo de sacáridos como cadena lateral. Solubles en agua y presentes en gran proporción en frutas cítricas. La cadena de ácido galacturónico se esterifica parcialmente como metil ésteres; las propiedades funcionales de las péctinas están determinadas por el grado de esterificación, clasificándose como péctinas de alto y bajo metóxilo. (14, 21,52)

d) Lignina

Polímero muy complejo derivado de los alcoholes fenólicos (sinapol, coumarol, coniferol y cinamol , por lo tanto no es un polisacárido; es insoluble en agua y altamente resistente a la digestión. Abunda en las plantas proporcionando soporte y resistencia mecánica; generalmente se le asocia con el estado de madurez de las plantas. (14)

No convencionales

Son todos aquellos compuestos que de alguna manera se encuentran presentes en el alimento, pero que sin embargo no forman parte de la pared celular de las plantas, ni pueden ser considerados material de reserva. (14,52)

La mayoría de los investigadores no incluyen estos compuestos como parte de la fibra dietética, no obstante pueden tener un efecto significativo sobre las propiedades físicoquímicas de la fibra dietética y actividades fisiológicas.(14)

1.- Compuestos fenólicos

Los tejidos de muchas plantas contienen un grupo de compuestos polihidroxifenólicos como los taninos, que se pueden dividir en:

a) taninos hidrolizables de residuos de azúcares y fenólicos residuales.

b) taninos condensados los cuales consisten de unidades flavonoides polimerizadas (leucoantocianinas y catequinas). Estos compuestos cuando reaccionan o son calentados forman lo que se denomina lignina artificial, de tal manera que influyen sobre las propiedades de la fibra dietética. (14,52)

2.- Sustancias cuticulares

Normalmente se encuentran presentes en hojas, tallos, frutas y semillas, formando una capa de ceras cuya función principal es dar a la planta un mecanismo de defensa contra las infecciones causadas por hongos, insectos y otros patógenos. Estas sustancias se dividen en cuticulares y subcuticulares y se componen principalmente por lípidos no polares, poliésteres y ácidos hidroxiepóxidos, no se degradan fácilmente por las enzimas del tracto digestivo, de tal forma que se cuantifican de alguna manera como fibra dietética. (14,52)

3.- Glicoproteínas

Se encuentran formando parte de la pared celular de las plantas, tienen una composición similar al colágeno, dan plasticidad y elasticidad a las células durante el crecimiento. Son ricas en hidroxiprolina, tetra L-rabinosa, D-galactosa y son poco digeribles e influyen en la determinación de fibra dietética. (14, 52)

4.- Almidón resistente

Son las diferentes fracciones de almidón que escapan a la digestión y absorción en el intestino delgado de individuos normales. (14,19)

Requerimientos

En cuanto a los requerimientos de fibra dietética se han precisado en un consumo de 20 a 40 gramos diarios por persona, según diversos estudios que se han realizado con animales de laboratorio y seres humanos. (14,43)

Tal y como se describe en la tabla 2 donde podemos observar que las fuentes concentradas son las de mayor aporte de fibra, seguidas de verduras, frutas y granos refinados.(4,14,21,43)

Tabla 2 Contenido de fibra en los alimentos (g/ 100 g. peso seco)

| ALIMENTO | % |
|----------------------|-------|
| Verduras | 9-35 |
| Frutas | 4-25 |
| Granos refinados | 2-8 |
| Fuentes concentradas | 12-85 |

Badui, 1993

1.1.4.-Psyllium como fuente de FDS v.s. cascarilla de maíz como fuente de FDI

El nombre botánico del psyllium es *Plantago psyllium* en inglés es conocido como cascarilla de semillas de psyllium (*Psyllium Seed Husks*) el cual es obtenido de las plantas de *Plantago* genera ó *Plantago ovata* que es la fuente más abundante en el mundo de psyllium, cultivada principalmente en la India.

(45)

El interés por el psyllium radica principalmente en su alto contenido de mucilagos el cual es muy alto en la planta de *Plantago ovata*, polisacárido que forma geles a bajas concentraciones. Debido a sus propiedades gelificantes es ampliamente utilizado por su efecto laxante.(45)

El psyllium es un excelente fuente de FDS tal y como se muestra en la tabla 3 el cual presenta los valores más altos de FDS seguido del frijol, arroz, cebada , cascarilla y sémola de avena; que reduce los niveles de colesterol y triglicéridos, además de ayudar en problemas de colitis, diarrea, y costipación del colon. (31,45)

Tabla 3 Comparación de diferentes orígenes de FDS

| Origen | Contenido de fibra soluble (g/100g) |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Psyllium | 85 |
| Frijol, arroz, cebada | 7.8 |
| Cascarilla de avena | 7.2 |
| Sémola de avena | 5.0 |

Leeds, A.R., 1995

Por todo lo anterior el psyllium es una fuente importante de FDS para la Industria de alimentos que puede ser incorporado en cereales para desayuno y utilizado como espesante en productos a base de crema y postres congelados. (45)

Por otro lado el maíz es el cereal básico en la alimentación de la población mexicana. Mediante el proceso de nixtamalización (tratamiento térmico-alcalino) del maíz y su posterior molienda se produce una masa con la que se pueden elaborar productos como las tortillas. Uno de los subproductos de este proceso es la cascarilla de maíz, que por sus características fisicoquímicas y su composición puede ser utilizada como fuente de FDI. (26, 49)

La cascarilla de maíz está constituida principalmente de celulosa, hemicelulosa y residuos de almidón. (49)

1.1.5.-Propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética

La predicción de la funcionalidad fisiológica en el ser humano y la aplicación en alimentos procesados de la FD, está basada sobre las propiedades fisicoquímicas de la misma. Estas propiedades son: capacidad de ligar agua y aceite, capacidad de intercambio de cationes, absorción de moléculas orgánicas, etc. (7, 14)

La medición in vitro de las propiedades fisicoquímicas de diferentes tipos de fibras dietéticas puede no relacionar de manera directa a lo que realmente ocurre durante el proceso digestivo de las mismas (14,17); pero la determinación de tales propiedades es importante como punto de referencia para comparar tales propiedades entre diferentes fuentes de fibras dietéticas.

Las propiedades fisicoquímicas de las fibras in vitro pueden verse afectadas por componentes no convencionales, por la composición química y el tamaño de partícula (7, 8, 14, 21)

Los datos sobre propiedades funcionales y físicoquímicas de la FD pueden ser usados en la formulación y desarrollo de alimentos ricos en fibra que reduzcan el riesgo de salud de ciertos alimentos; para el desarrollo de condiciones de procesamiento que mantengan la calidad nutricional y funcional de la FD y el desarrollo de FD como aditivo para cumplir funciones específicas en alimentos procesados, relacionadas con la forma, textura, estabilización de olor y sabor, entre otras. (14,21)

1.- Capacidad de absorción de agua (WBC)

La WBC puede ser definida como la máxima cantidad de agua que es absorbida por unidad de peso del alimento seco en presencia de un exceso de agua (14, 52)

La forma en la que está agua absorbida se distribuye en los materiales alimenticios es de dos formas principales:

- El agua es retenida en estructuras capilares como resultado de las fuerzas de tensión superficial.
- Interacción del agua con componentes del alimento a través de puentes de hidrógeno y algunos tipos de interacción dipolo.(2,14)

Los factores que influyen sobre la WBC son: Composición química de la FD componentes tales como celulosa y lignina tienden a estar asociados con una baja WBC; mientras que la hemicelulosa tiende a asociarse con una alta WBC (14)., tamaño de partícula, fuerza iónica, contenido electrolítico, pH de la solución, preparación y / o condiciones de procesamiento (14, 16, 21)

CRA (Capacidad Retención de Agua)

Relaciona la cantidad de agua en la fibra que se encuentra en equilibrio con el medio potencial químico conocido, absorbida por capilaridad. El método que se emplea para medir la CRA es el de centrifugación. (14,52)

CAA (Capacidad de absorción de agua)

La única diferencia con respecto a CRA es el tiempo de contacto de la muestra con agua. (52)

CDA (Capacidad de adsorción de agua)

Considera el comportamiento termodinámico de las fibras en términos de los principios de sorción. La medición de CDA consiste en colocar la muestra en una solución de $A_w = 0.98$ determinando la ganancia en peso, su valor no puede estar relacionado con la CAA y la CRA puesto que es diferente la forma en la cual el agua es absorbida en los sitios activos. (52)

Con la isoterma de sorción es posible determinar la energía requerida de diferentes fuentes de fibra para absorber agua, e inferir sobre su comportamiento fisiológico. (52)

2.- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Ciertos componentes de la FD tienen influencia sobre la absorción de minerales ya que estos se ligan a los componentes de la FD y son excretados en las heces, sin que sea posible su adsorción.

Una dieta alta en fibra tiene el potencial de reducir la disponibilidad mineral y la absorción electrolítica, dejando un aumento de minerales y electrolitos en la excreción fecal. (14,16)

1.2.- AGUA EN LOS ALIMENTOS

1.2.1.-Importancia del agua en los alimentos

El agua es el principal componente en los alimentos y materiales biológicos, juega un papel predominante en la estructura de éstos; contribuyendo a la forma, propiedades físicas, químicas, palatabilidad y digestibilidad; siempre y cuando se mantengan controlados los fenómenos de transferencia de masa, las reacciones químicas y la actividad de los microorganismos que se involucran en la interacción agua-alimento.(11,19, 48)

La mayoría de las operaciones unitarias usadas en Ingeniería de alimentos tiene como finalidad al menos parcialmente, disminuir la disponibilidad del agua para estabilizar el material durante su procesamiento, almacenamiento y distribución; ya sea por medio de secado, concentración, congelación o adición de aditivos que absorban agua. (11,48)

Una de las formas con la cual es posible medir la inmovilización del agua en la mayoría de los alimentos de baja humedad es a través del concepto de A_w y su relación con el contenido de humedad y temperatura. (11,19)

1.2.2.-Tipos y definición del agua presente en los alimentos

Agua ligada

Si toda el agua se considera bien como "libre" o "ligada, puede razonablemente decirse que toda el agua de los tejidos está ligada puesto que no fluye libremente cuando se aplican fuerzas moderadas y toda ella se encuentra bajo cierto grado de influencia de las estructuras biológicas o solutos y por tanto se comporta de manera diferente que el agua pura; además el "ligamiento" puede ser contemplado desde los puntos de vista de la estructura del agua (posición media de las molécula de agua entre sí mismas y en relación con los solutos y estructuras biológicas), movilidad de las moléculas de agua (movimiento translacional y rotacional) , energías de disociación de enlace (agua-agua, agua-soluto, agua-ion); una porción del total agua presente en los alimentos se encuentra fuertemente ligada por medio de puentes de hidrógeno a los sitios químicos de los que se componen los alimentos, estos sitios pueden incluir a los grupos hidróxilo de los polisacáridos, carbonilo y amino de las proteínas y otros sitios polares. (2), ó bien por medio del concepto de actividad de agua.(11, 19)

" Agua Ligada " Es la que existe en la vecindad de solutos y otros constituyentes no acuosos, exhibiendo reducida movilidad molecular y otras propiedades significativamente alteradas, en comparación con la masa de agua del mismo sistema, siendo incongelable a -40°C .El agua no congelable a -40°C puede medirse con resultados igualmente satisfactorios bien por NMR de protones o procedimientos calorimétricos. (19)

El agua ligada en la mayoría de los alimentos de alta humedad está presente en cantidades relativamente pequeñas. Por ejemplo, estimaciones fiables del agua ligada adherida a las proteínas oscilan de 0.3 a 0.5 g. H₂O por gramo de proteína seca. (19)

Agua capilar

Además del agua ligada, en algunos sistemas celulares pequeñas cantidades de agua pueden exhibir reducida movilidad y presión de vapor debido a que se encuentran retenidos en la una red de pequeños capilares. La reducción de la presión de vapor es sustancial cuando abundan capilares con radios de menos de 0.1 milimicras. La mayoría de los alimentos tienen capilares cuyo tamaño oscila de 10 a 100 milimicras, eliminando por tanto este mecanismo como medio de reducción de la aw de los alimentos. (19,23)

Agua solución

También se puede considerar como otro tipo de agua; la de solución, que es aquella que sirve como solvente de ciertos componentes solubles en el agua; tales como azúcares, sales minerales, ácidos orgánicos, vitaminas y algunos minerales. Estos factores constitutivos forman en el alimento una solución más o menos concentrada según sea la cantidad presente de humedad. Por consecuencia de la presencia de sólidos la presión de vapor será menor con respecto a la del agua pura y así mismo disminuirá el punto de congelación. (19,23)

Agua atrapada y agua absorbida

La "capacidad de retención de agua" es un término frecuentemente empleado para describir la capacidad de una matriz de moléculas, normalmente macromoléculas, para atrapar grandes cantidades de agua de tal manera que se evite la exudación. Como ejemplos de alimentos tenemos a los geles de pectina y almidones, así como tejidos animales y vegetales. El agua atrapada no fluye de los alimentos incluso aunque se produzca considerable daño mecánico. Además tal agua se comporta casi igual que el agua pura durante el procesamiento de los alimentos, es decir, se elimina fácilmente durante la desecación y se convierte fácilmente en hielo durante la congelación.

Esto es, sus propiedades de flujo masivo están severamente restringidas, pero el movimiento de las moléculas individuales es esencialmente el mismo que el de las moléculas de agua en una solución salina diluida. (19)

La adsorción consiste en la acumulación, en la gran extensión de materiales porosos, de capas de moléculas de gas retenidas en la superficie por fuerzas electrostáticas. En las fases iniciales, las moléculas de gas se acumulan en la superficie a medida que aumenta la presión, se forma una capa de un espesor tal que cubre toda la superficie (fase conocida como estado de capa monomolecular). Conforme va aumentando la presión se forman encima de la capa monomolecular otras capas posteriores de moléculas de gas pero cada capa sucesiva está retenida en la superficie por fuerzas cada vez más débiles de tal forma que la distancia entre la capa y la superficie va siendo cada vez más grande. La manera en la que se absorbe el gas en alimentos, con bajo contenido de humedad, es de forma tal que cada una de las moléculas de agua se retienen por fuerzas químicas a uno de los muchos agrupamientos químicos reactivos que presenta la superficie de las proteínas o de los polímeros de carbohidratos, con lo que la capa monomolecular representa un estado en el que todos estos agrupamientos están ligados a una molécula de agua.

Encima de la capa monomolecular pueden formarse, capas sucesivas de moléculas de agua en torno de los polímeros constitutivos del alimento, y estas otras capas estarán retenidas por fuerzas progresivamente más débiles hasta que las capas más externas queden retenidas por fuerzas no mucho mayores que las de la atracción capilar. (23)

1.2.3.-Conceptualización de actividad de agua.- A_w

Desde hace mucho tiempo se sabe que existe una relación entre el contenido de agua de los alimentos y su alterabilidad.

Sin embargo diversos alimentos con el mismo contenido de agua difieren significativamente en su susceptibilidad a la alteración. En consecuencia, el contenido de agua por sí sólo no es un indicador fiable de la alterabilidad. (2,11)

Es por ello que se ha adoptado el término de A_w que, aunque mucho mejor indicador de la alterabilidad de los alimentos que el contenido de agua, tampoco es aún perfecto, puesto que otros factores, tales como concentración de oxígeno, pH, movilidad del agua y el tipo de soluto presente, pueden en algunos casos, ejercer fuertes influencias sobre la velocidad de degradación. No obstante, la A_w se correlaciona suficientemente bien con las velocidades de muchas reacciones degradativas es por ello que el gobierno federal de EE.UU ha incluido valores de actividad del agua en regulaciones que tratan de buenas prácticas de manufactura en alimentos. (2,11,19, 24)

A_w de acuerdo con la Ley de Raoult se define como la relación entre la presión de vapor del alimento a cierta $^{\circ}T$ y P y la presión de vapor del agua pura a la misma $^{\circ}T$ y P .(19, 24, 25, 29, 36, 48)

La actividad de agua de cualquier material depende de la composición química del material, el estados de agregación de los constituyentes, del contenido de agua y de la temperatura del material (48)

Este fenómeno puede explicarse al considerar a un alimento encerrado en un recipiente hermético, el cual tiene su superficie en contacto con un espacio lleno de aire, algo del agua del alimento se evaporará en el espacio situado encima de él, formando vapor acuoso que se mezclará con dicho aire. Finalmente se llegará a un estado en el que el gas que llena éste espacio está saturado de vapor acuoso y es incapaz de dar acomodo a más agua en estado gaseoso.

La proporción en que tiene lugar la evaporación desde la superficie del agua del alimento está exactamente equilibrada por la proporción en la que se condensan las moléculas de agua en estado gaseoso; y entre el agua del alimento y el vapor de agua presente en el aire existe un estado de equilibrio .

En estas condiciones, la presión del vapor acuoso presente en el gas que ocupa el espacio superior está determinada por la temperatura y a ésta presión se le define como *presión de saturación*; por lo tanto el agua presente en el alimento ejercerá una presión de vapor menor al valor de saturación, y entre el vapor acuoso presente en el aire y el alimento se establecerá un estado de equilibrio; por lo que la humedad relativa del aire de este espacio tendrá un valor inferior al 100%, y la A_w de un alimento también podrá ser expresada de la siguiente forma:

$$A_w = HRE / 100 \quad (23)$$

1.2.4.-Efecto de la temperatura sobre la A_w

Los valores de A_w son dependientes de la temperatura. La ecuación de Clausius-Clapeyron, describe tal dependencia:

$$d \ln A_w / d (1/T) = -\Delta H / R \dots \dots \dots (1)$$

en donde, T es la temperatura absoluta, R la constante de los gases y ΔH es el calor isotérico de sorción correspondiente al contenido de la muestra.

Remodelandola está ecuación puede adecuarse a la ecuación generalizada para una línea recta, en cuya forma es evidente que la representación gráfica de $\ln A_w$ versus $1/T$ a contenido de agua constante deberá ser lineal.

Dependiendo del producto, un cambio de temperatura de 10°C puede causar un cambio en la A_w que oscila desde 0.03 a 0.2. (19)

Los cambios de temperatura también afectan la A_w de las soluciones de sales saturadas usadas en la determinación de isoterma, mostrando una disminución.(28,36) Por lo que sí la A_w no son corregidas en función a la temperatura de estudio se puede distorsionar la forma de la isoterma a obtener.

1.2.5.- A_w y estabilidad de los alimentos

La actividad de agua tiene gran influencia sobre el deterioro de los productos y por lo tanto sobre la vida de anaquel de los mismos. Los factores que influyen sobre el valor de actividad de agua requerido en un producto antes de que sea almacenado son: tiempo de rotación, rapidez de deterioro de la calidad y costos procesos de deshidratación y empaque. (11,19)

Como medida de control de calidad la FDA ha incorporado el concepto de A_w en las GMP para asegurar la inocuidad de los alimentos al ser consumidos.(2,19,29)

El mapa de Labuza Fig. 1 es un esquema que representa de manera general los diferentes fenómenos de deterioro que puede sufrir el alimento como función de la actividad de agua, iniciando con un valor de actividad de agua de 1 en donde podemos observar que con una disminución en la actividad de agua, las reacciones de deterioro químico y crecimiento microbiológico se ocurren más despacio, Troller 1978 ha demostrado que la mayor parte del crecimiento microbiano de impacto en el deterioro de alimentos cesa por debajo de A_w de 0.9. (29, 44)

La mayoría de las levaduras cesan su crecimiento a una A_w de 0.85, mientras que los hongos lo hacen a una A_w de 0.7(29); mientras que las reacciones enzimáticas y no enzimáticas son casi completamente inhibidas al disminuir la A_w a excepción de las de oxidación lipídica la cual es fuertemente favorecida por un decremento en la A_w . (11)

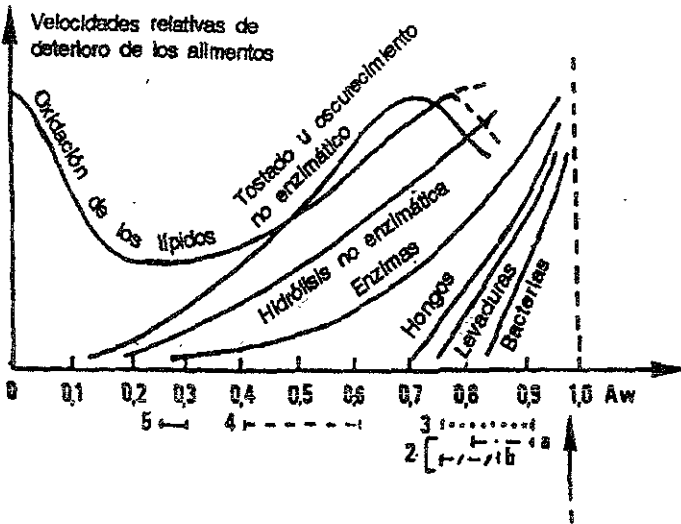


Figura 1 Mapa de la estabilidad de los alimentos como una función de la actividad de agua

Cheftel, 1992

A continuación daremos una explicación detallada de los deterioros que sufren los alimentos en función de la A_w .

a) Microorganismos

En la tabla 4 se muestran los diversos microorganismos en alimentos en función al intervalo de actividad de agua que permite su crecimiento.

Tabla 4 Aw-microorganismos en alimentos

| <i>Intervalo de Aw</i> | <i>Microorganismos generalmente Inhibidos por la Aw más baja de Este intervalo</i> | <i>Alimentos generalmente comprendidos dentro de éste intervalo</i> |
|------------------------|--|---|
| 1-0.95 | Pseudomonas, Escherichia, Proteus, Shigella, Klebsiella, Bacillus, Clostridium perfringens, algunas levaduras | Alimentos altamente perecederos (frescos) frutas enlatadas, verduras, carne, pescado, leche, salchichas cocidas y pan; alimentos que contienen hasta aproximadamente 40 % (p/p) de sacarosa o 7% de NaCl |
| 0.95-0.91 | Salmonella, Vibrio parahaemolyticus, C. botulinum, Serratia, Lactobacillus, Pediococcus, algunos mohos y levaduras (Rhodotorula, Pichia) | Algunos quesos (Cheddar, Swiss, Muenster, Provolone), carne curada (jamón), algunos zumos de frutas concentrados; alimentos que contienen 65% p/p de sacarosa o 12 % de NaCl |
| 0.91-0.87 | Muchas levaduras (Candida, Torulopsis, Hansenula), Micrococcus | Embutidos fermentados (salami), dulces esponjosos, quesos secos, margarina; alimentos que contienen 65% p/p de sacarosa (saturados) o 15% de NaCl |
| 0.87-0.80 | Mayoría de mohos (penicilios micotoxigénicos), Staphylococcus aureus, mayoría de sp Saccharomyces (bailli), Debaryomyces | Mayoría de zumos de frutas concentrados, leche condensada edulcorada, jarabe de chocolate, harina, arroz, legumbres con una humedad de 15-17%, tartas de fruta |
| 0.80-0.75 | Mayoría de bacterias halófilas, aspergilos micotoxigénicos | Compota, mermelada, mazapán, frutas glaseadas, pasteles de gelatina |

| | | |
|-----------|---|---|
| 0.75-0.65 | Mohos xerofílicos (<i>Aspergillus chevatieri</i> , <i>A. Candidus</i> , <i>Wallemia sebi</i>) <i>Sacharomyces bisporus</i> | Productos de avena con un contenido de humedad de 10% aproximadamente, dulce de chocolate, jalea, melazas, azúcar de caña sin refinar, frutas secas |
| 0.65-0.60 | Levaduras osmofílicas (<i>Sacharomyces rouxii</i>), pocos mohos (<i>Aspergillus echinulatus</i> , <i>Monascus bisporus</i>) | Frutas secas con un contenido de humedad de 15-20%, tofes, caramelos y miel |
| 0.5 | No proliferación microbiana | Pastas con un contenido de humedad de 12% aproximadamente, especias con un contenido de humedad de 10% |
| 0.40 | No proliferación microbiana | Polvo de huevo entero con un contenido de humedad del 5% |
| 0.3 | No proliferación microbiana | Galletas, bizcochos, cortezas de pan y similares con un contenido de humedad de 3-5% |
| 0.2 | No proliferación microbiana | Leche entera en polvo con un contenido de humedad de 2-3%, verduras secas con un contenido de humedad de 5%, palomitas de maíz con un 5% de humedad, galletas y bizcochos |

El crecimiento de los microorganismos se favorece entre los valores de actividad de agua de 1 - 0.65 y de 15 a 25°C, mientras que en valores de 0.75 y 0.65 solo pueden crecer ciertos tipos de microorganismos especializados como las levaduras osmofílicas. Cuando las actividades de agua llegan a un nivel de 0.8 se requiere de 4 a 5 semanas para que el producto sea dañado por los microorganismos y en el área de 0.7 y valores inferiores, este tiempo es del orden de meses. (23,24)

Hoy está generalmente aceptado que, para fines prácticos de almacenamiento, no deberá permitirse que el contenido de humedad de materias alimenticias susceptibles a la descomposición por microorganismos rebase el valor de actividad de agua del 0.7 o máximo contenido de humedad permisible para el almacenamiento seguro.(23,24)

Cuando el contenido de humedad se mantiene por debajo de este valor, los hongos son incapaces de crecer, o crecerán tan lentamente que es posible un almacenamiento prolongado sin que tenga lugar algún deterioro apreciable.
(23, 24)

b) Deterioro físico:

Si los materiales que contienen proteínas y almidones se secan hasta valores muy bajos de actividad de agua, se presentará un proceso irreversible de desnaturalización. La desnaturalización es causada por la interacción de los sitios reactivos y da como resultado cambios en textura, principalmente en alimentos ricos en proteína. (11,23)

c) Deterioro químico:

El deterioro químico de los alimentos puede ser producido por tres diferentes caminos; enzimático, reacciones de Maillard y rancidez.(11,23)

Cambio químico inducido por enzimas

Las enzimas que causan este tipo de reacciones son enzimas íntinsecas del producto o enzimas extrañas, producidas por microorganismos. Es probable que en muchos alimentos que no reciben tratamiento térmico alguno, se encuentren presentes enzimas termolábiles; pero se dice generalmente que si a estos alimentos se les mantiene secos, no se presenta el deterioro enzimático; aunque esto es cierto en la mayoría de los casos, en ciertos casos específicos se ha observado una considerable descomposición enzimática de alimentos

almacenados con un contenido de humedad comparativamente bajo, tales como harina de trigo y frutas secas, principalmente a valores superiores de actividad de agua de 0.3 (11,23,24)

Las reacciones enzimáticas más importantes son la descomposición de la grasa por la acción de las lipasas, fosfolipasas, y lipoxidasas principalmente en alimentos con un alto contenido de grasas, y las reacciones de oscurecimiento del color en frutas y verduras y con algo de actividad en alimentos secos provocado por las peroxidasas y fenoloxidasas, algunas asociadas a la respiración que avanzan siguiendo varias fases y en las que pueden intervenir muchas enzimas diferentes generadas en alimentos con alto contenido de humedad. Mientras que en productos con un contenido de humedad bajo, estas reacciones no se producen y en ellos es más común que la causa de los efectos observados sea una sola enzima. La velocidad de hidrólisis enzimática de lípidos en los alimentos tales como las carnes son insignificantes en valores de A_w alrededor de 0.4 (23,24)

Oscurecimiento no enzimático

También llamadas reacciones de Maillard, ocurren prácticamente a cualquier nivel de actividad de agua; sin embargo tiene un máximo muy acentuado en los valores medios de 0.6. Los cambios se deben a la reacción de los carbohidratos con los grupos amino de las proteínas. El coeficiente de las reacciones de Maillard crece de manera muy marcada a A_w de 0.8 y disminuye a A_w de 0.3 (11,22,23)

Rancidez

A bajos niveles de actividad de agua, el tipo más importante de deterioro es la autooxidación de lípidos que se presenta a causa de reacciones radicales libres entre el oxígeno y los lípidos no saturados. (23,24)

Los efectos de la autooxidación disminuyen constantemente al aumentar el contenido de agua, de manera de suponerse que ésta causa un efecto protector. Aunque este proceso muestra un marcado declive en su velocidad por debajo de 0.4 aproximadamente, este después se incrementa de nuevo, al aproximarse al 90% de su velocidad máxima, en valores cercanos a cero. Todavía no se cuenta con una explicación detallada de cómo protege el agua; sin embargo parece que el efecto protector va ligado a la estabilidad de los constituyentes que tienden a formar radicales libres. (11,23,35)

d) Otros efectos:

La retención del aroma en los alimentos también depende grandemente de la actividad de agua.

La actividad de agua afecta de manera importante cambios estructurales en los alimentos tal como la transformación de forma amorfa a cristalina de los azúcares contenidos en ellos. (22)

1.3.-ISOTERMAS DE SORCION EN ALIMENTOS

1.3.1.-Definición de isoterma de sorción

La forma en la que varía la actividad de agua de un alimento cuando varía el contenido de humedad del mismo; se expresa gráficamente en forma de una curva isoterma de sorción de humedad, que consiste en el trazado de una curva del contenido de humedad en comparación con la actividad de agua a temperatura y presión constante.(2,11,19, 22, 23, 30, 48)

Dicha curva es la expresión de las condiciones de equilibrio entre la humedad del alimento y la humedad presente en el aire a una temperatura dada cualquiera. (23)

Cada alimento posee su isoterma de sorción característica para cada temperatura. La diferente forma de las isotermas de sorción se debe a las diferencias en la estructura física, composición química y capacidad de retención de agua del alimento. (30)

La isoterma puede dividirse en diferentes regiones dependiendo del estado del agua presente, tal y como se presenta en la figura 2.

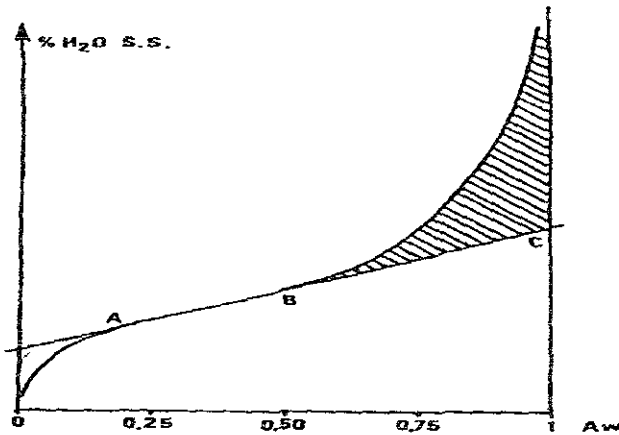


Figura 2 Representación esquemática de las regiones de la isoterma
(Cheftel,1992)

Región A.- El agua presente en ésta zona es el agua más fuertemente absorbida y más inmóvil. Está agua está absorbida a sitios polares accesibles por interacciones agua-ion o agua-dipolo. La entalpía de vaporización de tal agua es mucho mayor que la del agua pura y no puede congelarse a -40°C no sirve como solvente y no está en cantidad suficiente para ejercer un efecto plastificante sobre el sólido. Se comporta simplemente como parte integrante del sólido (agua constitucional)(19)

El final de mayor humedad de la zona A (límite entre las zonas A y B) corresponde al contenido de humedad de *monocapa* del alimento.(11,19,30,)

El valor de monocapa se considera como la cantidad de agua necesaria para formar una monocapa sobre los grupos altamente polares y accesibles de la materia seca, o bien corresponde a la cantidad máxima de agua que puede estar muy fuertemente ligada al alimento, evitando que quede libre para reaccionar con otros sitios activos. (8,19,25, 30)

El agua de la zona A constituye una fracción muy pequeña del agua total del producto alimenticio de alta humedad (19)

Región B.- El agua de ésta zona consta del agua de la zona A más el agua añadida (por resorción) confinada dentro de la zona B. El agua añadida de la zona B ocupa los restantes sitios de la primera capa y varias capas adicionales en torno a los grupos hidrofílicos del sólido, designándose agua en multicapa.

El agua multicapa se asocia con las moléculas vecinas primariamente por enlaces de hidrógeno agua-agua, agua-soluto. La entalpía de vaporización del agua multicapa es ligera o moderadamente mayor que la del agua pura, dependiendo de la proximidad del agua a los constituyentes no acuosos, no congelando la mayor parte de esta agua a -40°C .

El agua que se añade a un alimento con un contenido de agua en el límite de las zonas A y B, iniciará procesos de disolución, actuará como agente plastificante y promoverá el hinchamiento de la matriz sólida. La instauración de los procesos de disolución, movilizará los reactantes, determinando así una aceleración de la mayoría de las reacciones. El agua de las zonas A y B normalmente supone menos del 5 % del agua de un producto alimenticio de alta humedad. (8,11,19,30)

Región C.- El agua de esta zona consta del agua de las zonas A y B más el agua añadida por resorción dentro de los confines de la zona C.

El agua de esta región es el agua menos fuertemente ligada y más móvil (moleculariamente) de los alimentos y se designa agua de la fase masiva.

En los geles o sistemas celulares el agua de la fase masiva está físicamente atrapada de forma que se haya impedido su flujo, sus propiedades son similares a las del agua de una solución salina, puesto que las moléculas de tal agua están aisladas de los efectos de las moléculas no acuosas por varias capas de moléculas de agua de la zona A y B.

El agua añadida o eliminada dentro de los confines de ésta zona exhibe una entalpía de vaporización esencialmente igual a la del agua pura, es congelable, es utilizable como solvente y suficientemente normal y abundante como para permitir que las reacciones químicas y el crecimiento microbiano ocurran rápidamente. El agua de la fase masiva de la zona C bien atrapada o libre, normalmente asciende a más del 95% del agua total de un producto alimenticio de alta humedad.(8,11,19,30)

1.3.2.-Tipos de isotermas de sorción.

- a) De adsorción: Se obtiene al someter un material completamente seco dentro de varias atmósferas de humedad relativa, midiendo el peso ganado de agua.
- b) De desorción: Se obtiene al someter un material inicialmente mojado a varias atmósferas de humedad relativa, midiendo la pérdida de peso. (11,19,30)

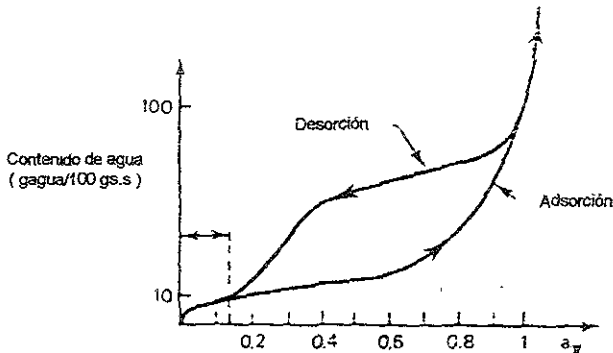


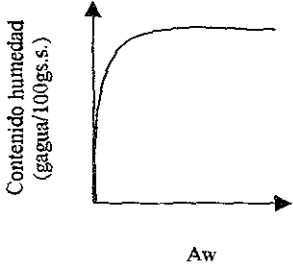
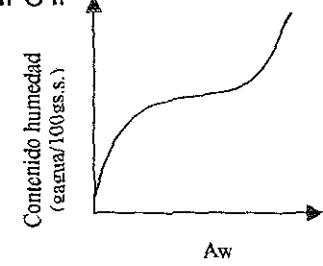
Figura 3 Tipos de Isotermas(Cheftel,1992)

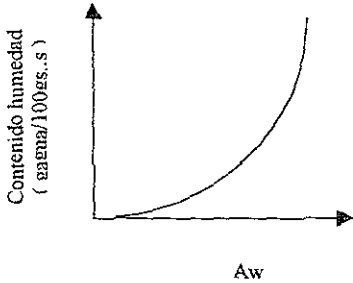
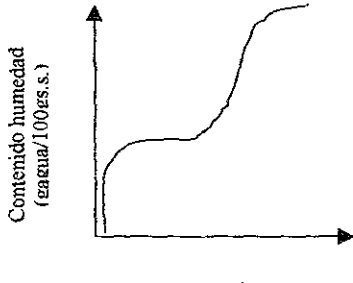
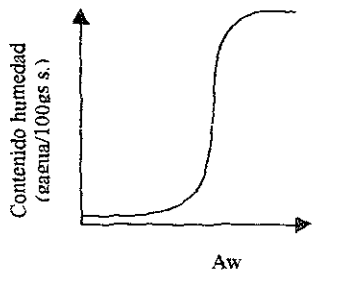
1.3.3.-Clasificación de isothermas de acuerdo a su forma

El tipo más común de isothermas de sorción en los alimentos es la forma sigmoide. Las isothermas de sorción reales para alimentos presentan variedad de formas que son función de la composición química y del estado fisicoquímico de los constituyentes (48)

Estas formas pueden ser clasificadas de la siguientes manera:

Tabla 5 Tipos de isothermas

| Forma y Tipo | Características |
|---|--|
| <p>Tipo I</p>  | <p>Conocida como isoterma de adsorción de Langmuir, debido a que fue él quien derivó la ecuación para una capa unimolecular en 1918.</p> |
| <p>TIPO II</p>  | <p>Es el tipo más importante en los alimentos, presenta una forma sigmoide. En este tipo es posible diferenciar las tres regiones de las que se compone la isoterma.</p> |

| | |
|---|--|
| <p>TIPO III</p>  <p>Contenido humedad (g agua/100ss.s.)</p> <p>Aw</p> | <p>Este tipo de isotermas es posible observarlas en productos alimenticios que contienen azúcares vítreos; leche en polvo, fruta desecada, helado de crema. La zona predominante en esta isoterma corresponde al agua de solución.</p> |
| <p>Tipo IV</p>  <p>Contenido humedad (g agua/100ss.s.)</p> <p>Aw</p> | <p>Es parecida a la isoterma tipo II de forma sigmoide sólo que con variación en la zona 3 la cual generalmente depende del tipo de alimento, su composición y su capacidad de adsorción de agua.</p> |
| <p>TIPO V</p>  <p>Contenido humedad (g agua/100ss.s.)</p> <p>Aw</p> | <p>Está muy relacionada con la isoterma tipo III. También conocida como tipo J en alimentos tales como frutas, confituras y extracto de café que contienen grandes cantidades de azúcar y otros materiales que no son ricos en materiales poliméricos.</p> |

Labuza, 1968

1.3.4.-Efecto de la temperatura sobre la isoterma

La cantidad de agua absorbida disminuye con el aumento de la temperatura a una Aw constante.(19, 22)

La temperatura afecta la movilidad de las moléculas de agua y el equilibrio dinámico entre el vapor y las fases absorbidas, esto indica que el alimento se vuelve menos higroscópico Tal y como lo describe Iglesias 1987 esto es función de la siguiente relación termodinámica.

$$\Delta F = \Delta H - T\Delta S \dots\dots\dots(1)$$

Como $\Delta F < 0$ (sorción es un proceso espontáneo) y $\Delta S < 0$ (las moléculas absorbidas quedaron libres)

$$\Delta H < 0 \dots\dots\dots(2)$$

Por otro lado un incremento en la temperatura causa un incremento en la actividad de agua para el mismo contenido de humedad. Esto incrementa los coeficientes de reacciones que encabezan el deterioro de los alimentos. (22)

No todos los alimentos presentan este tipo de consistente separación de isotermas a diferentes temperaturas; tal es el caso de los azúcares que empiezan a ser más higroscópicos a altas temperaturas por efectos de disolución de los mismos. (22, 36)

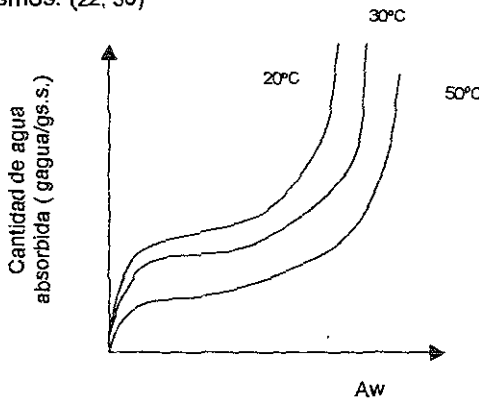


Figura 4 Efecto de la temperatura sobre la isoterma (Labuza,1968)

Así mismo es posible relacionar la dependencia de la temperatura con la ecuación de Clausius Clapeyron y puede ser expresada con la siguiente relación. (22,30)

$$\frac{d(\ln a)}{d(1/T)} = -\frac{Q_s}{R} \dots \dots \dots (3)$$

donde:

$a = A_w$

$T =$ temperatura K

$Q_s =$ calor de sorción (Kcal/mol K)

$R =$ constante de los gases

De los datos obtenidos al evaluar las isotermas a tres temperaturas diferentes es posible graficar los valores de $\ln A_w$ v.s. el inverso de la temperatura a contenido de humedad constante para obtener una línea recta donde la pendiente corresponde a $-Q_s / R$.

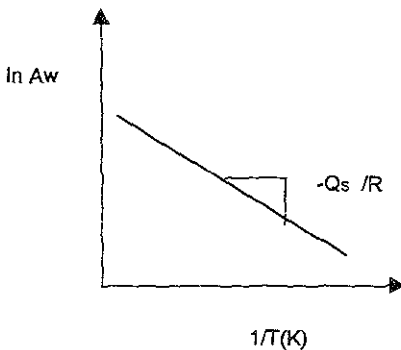


Figura 5 Método para la determinación de Q_s (Labuza, 1968)

Así mismo al graficar los valores de calor de sorción obtenidos de la figura 5 es v.s. el contenido de humedad es posible obtener la siguiente figura:

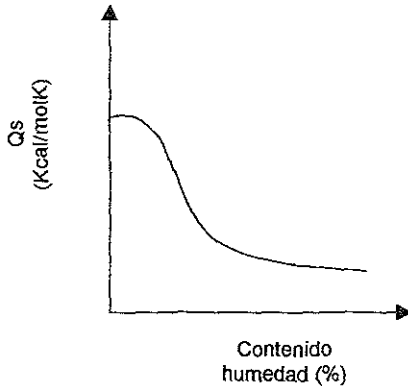


Figura 6 Q_s como función del contenido de humedad (Labuza, 1968)

Para la mayoría de los alimentos el máximo de calor de sorción se encuentra en valores cercanos a la monocapa a bajo contenido de humedad, mientras que altos contenidos de humedad disminuye el calor de sorción . (10,30)

1.3.5.-Histéresis

En teoría el curso de la sorción del agua por un material seco empieza con la formación de la monocapa siguiendo por la adsorción de multicapas, el canal dentro de los poros y los espacios capilares, la disolución de solutos, y finalmente, el atrape de agua a altos niveles de actividad de agua. Estas fases pueden sobreponerse extensivamente y diferirá en magnitud entre alimentos dependiendo de su composición y estructura química.

La histéresis tiene importantes implicaciones teóricas y prácticas. Las implicaciones teóricas extienden de aspectos generales de la irreversibilidad del proceso de sorción a la pregunta de la validez de las funciones termodinámicas derivadas de cada sistema.

Las implicaciones prácticas tienen que ver con el efecto de la histéresis sobre la descomposición química y microbiológica y su importancia en alimentos de humedad baja e intermedia. (11,19, 36)

Una variedad de formas de la histéresis se puede observar en los alimentos. Las diferencias de magnitud, forma y extensión de histéresis de alimentos deshidratados, es función del tipo de alimento y de la temperatura. Las variaciones están agrupadas dentro de tres tipos generales: (23) En alimentos con alto contenido de pectina y azúcar, como la manzana, la histéresis ocurre predominantemente en la región de monocapa, y no más allá de 0.65 de Aw. Para alimentos con alto contenido de proteínas, como la carne de cerdo, la histéresis comienza alrededor de 0.85 de Aw sugiriendo la condensación capilar como el principal y este fenómeno se presenta en isotermas de sorción de muchos alimentos. (23)

La magnitud de la histerésis, la forma de las curvas y los puntos de iniciación y la isoterma de sorción de humedad obtenida por adición de agua (resorción) a una muestra seca no es necesariamente superponible a la isoterma obtenida por desorción. Esta falta de superponibilidad se conoce como *histerésis* terminación del asa de la histerésis, puede variar considerablemente dependiendo de factores tales como la naturaleza del alimento, los cambios físicos que experimente al eliminar o añadir el agua, la temperatura, la velocidad de desorción y la cuantía del agua eliminada durante la desorción. Típicamente a una actividad de agua dada, el contenido de agua del alimento durante la desorción será mayor que durante la resorción. (19)

Se han emitido muchas teorías, sobre todo cualitativas, para explicar la histéresis de sorción. Estas teorías implican factores tales como fenómenos de hinchamiento, dominios locales metaestables, presuntas barreras de difusión, fenómenos capilares y dependencia del tiempo de equilibrio. (30)

1.3.6.-Importancia tecnológica de las isotermas de sorción

1.- Además de predecir la estabilidad físicoquímica o microbiológica de los alimentos es también muy importante para el ingeniero cuyo objetivo está relacionado a la concentración, deshidratación, empaque y almacenamiento de los alimentos.(22)

2.-Pueden ser utilizadas para investigar las características estructurales del producto alimenticio, el área superficial específica, volumen, tamaño del poro y cristalinidad.

Datos que pueden ser usados para seleccionar las condiciones apropiadas de almacenamiento, sistemas de empaque que optimizan o minimizan la retención de aroma, color, textura, nutrientes, y estabilidad biológica. (15,22,44)

Actualmente las tendencias de procesamiento y empaque de alimentos están correspondiendo a las exigencias del consumidor que piden más frescura, olor, sabor, nutrientes de los alimentos, especialmente en frutas y hortalizas por lo que las isotermas nos ayudan a determinar el empaque y procesamiento más adecuado y tener alimentos mínimamente procesados (2)

3.-A partir de isotermas evaluadas a dos o más temperaturas es posible predecir valores a otras temperaturas. La predicción de éstas isotermas será importante para el balance de energías durante procesos de secado o congelación de alimentos.(22,33)

4.- El punto final de procesos de secado está generalmente determinado por la A_w deseada en el producto final.(15,36)

5.- En operaciones de mezclado y formulaciones con dos componentes, las isotermas de sorción de cada componente son de importancia conocerlas en orden de predecir una transferencia indeseable de agua de un componente a otro, lo cual puede resultar en un rápido deterioro del alimento. (15)

6.-El empaclado de los alimentos es la aplicación más importante del uso de isotermas de sorción desde el punto de vista de optimización de las relaciones entre el área superficial del alimento y la permeabilidad del material de empaque y así obtener la vida de anaquel del mismo a bajo costo a ciertas condiciones de almacenamiento.(12,15)

1.3.7-Métodos para la construcción de isotermas de sorción

Distintos métodos para la medición de procesos de sorción han sido elaborados. La elección de cualquiera de éstos métodos es función del producto y objetivo del análisis.(22,36)

En la tabla 6 tenemos el resumen del principio de los métodos que pueden emplearse para estudiar a las isotermas en alimentos.

Tabla 6 Métodos para la construcción de isotermas

| Métodos Gravimétricos | | Métodos higrométricos o manométricos |
|---|---|---|
| Consisten en la determinación de cambios de peso de las muestras en equilibrio en diferentes presiones de vapor | | Estos métodos son eficaces para la determinación rápida de la A_w en procesos de Control de calidad |
| <i>Continuos</i> Dinámicos Vacío | <i>Discontinuos</i> Estáticos Dinámicos | <i>Directos</i> <i>Indirectos</i> |
| Métodos Especiales | | |

Rockland, 1987

1.3.8.-Descripción teórica de las isothermas de sorción

Existen diversas ecuaciones matemáticas para la interpretación y ajuste de los datos obtenidos de las isothermas, dentro de éstos tenemos a la Ecuación de BET. La ecuación de BET es el modelo más utilizado y nos da información de una gran variedad de alimentos bajo un intervalo de $0.05 < A_w < 0.45$.

Esta ecuación considera que:

- a) El calor de sorción de la primera capa es constante e igual al total del calor latente de vaporización, a calor constante y en sitios de interacción de Q_s .
- b) El calor de sorción de las capas después de la monocapa es igual al calor latente de vaporización. La sorción ocurre sólo en sitios específicos.
- c) La sorción ocurre sólo en sitios específicos. (30)

Su utilidad radica en la estimación del valor de monocapa o máximo contenido de humedad absorbida por la superficie del alimento que indica la estabilidad del mismo en almacenamiento. (30,34)

La ecuación generalizada de BET se expresa de la siguiente forma:

$$\frac{A_w}{(1 - A_w)m} = \frac{1}{m_1 C} + \frac{C - 1}{m_1 C} A_w \dots \dots (1)$$

La estimación de las constantes de BET (m_1 y C) se basan en la linealización de la ecuación anterior.

2.- METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1.- DESCRIPCION DEL CUADRO METODOLOGICO

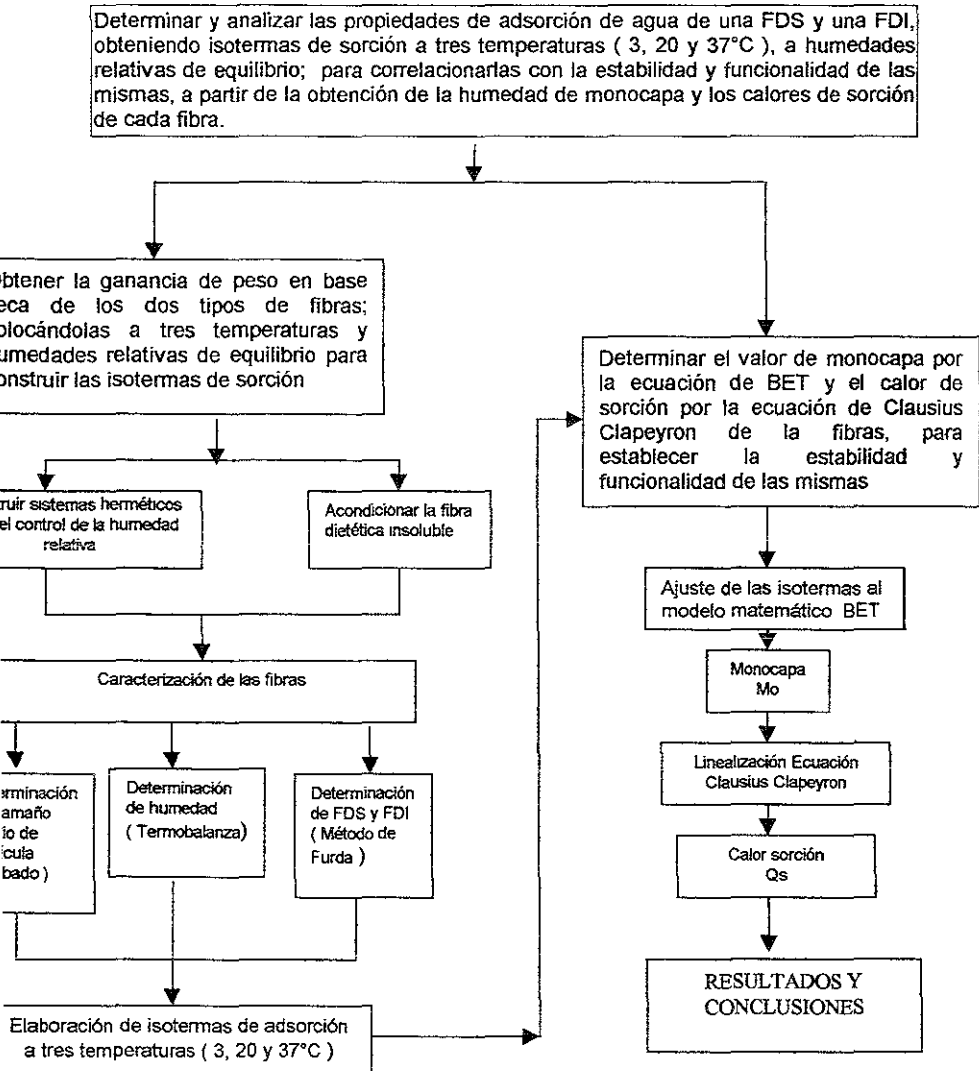
En la figura 7 tenemos el cuadro metodológico donde podemos observar la secuencia experimental realizada para cubrir los objetivos.

Como primera etapa se plantea la obtención de la ganancia de peso de las fibras a 3 diferentes temperaturas (3,20,37°C) y a humedades relativas de equilibrio para la construcción de las isothermas de adsorción; por lo que es necesario construir sistemas herméticos para el control de la humedad relativa de equilibrio, así como acondicionar la cascarilla de maíz, para posteriormente efectuar la caracterización de las dos fibras dietéticas al determinar los siguientes parámetros:

- Humedad por termobalanza
- Tamaño medio de partícula por cribado
- Determinación del contenido de FDS, FDI, FDT por método de Furda

Una vez elaboradas las isothermas; se plantea como segunda etapa la determinación del valor de monocapa mediante el ajuste de las isothermas al modelo matemático de BET; y el calor de sorción por medio de la linealización de la ecuación de Clausius Clapeyron para correlacionar estas propiedades termodinámicas con la máxima estabilidad y funcionalidad de las fibras dietéticas.

Figura 7 CUADRO METODOLOGICO



2.2.-DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.2.1.-Materias primas

a) Psyllium

Se obtuvo en forma comercial como Metamucil en su presentación libre de azúcar, para evitar la influencia de los azúcares sobre las características de adsorción de agua. (22,23,45)

b) Cascarilla de maíz

Se adquirió de un molino local para nixtamal como subproducto del proceso de nixtamalización del maíz para la elaboración de tortillas. La humedad del producto y el tamaño de partícula no eran los adecuados para iniciar la caracterización de las fibras y la corrida de las isothermas, por lo que fue necesario el acondicionamiento de esta fibra.

2.2.2.-Actividades previas

Construcción de sistemas herméticos para el control de la humedad relativa

Para mantener a las fibras dietéticas en condiciones de HRE fue necesario fabricar sistemas herméticos de plástico con base de alfileres para soportar recipientes con fondo de malla de polietileno.

Estos recipientes herméticos sirvieron para mantener los dos tipos de fibras dietéticas a las tres temperaturas de estudio (3,20,37°C) y a intervalos de A_w de 0.1 a 0.9.

No. réplicas: 3

No. eventos: $3 \times 3 \times 2 \times 8 = 144$ recipientes

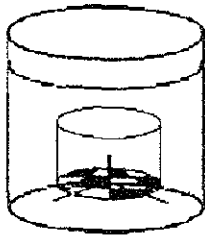


Figura 8 Recipientes Herméticos

Acondicionamiento de la cascarilla de maíz

La cascarilla de maíz fue lavada tres veces para eliminar el exceso de almidón ya que este puede influir de manera significativa sobre propiedades de adsorción de agua tal y como lo reporta Zambrano, 1994.

Así mismo en estufa de secado eléctrica con control de temperatura se redujo el exceso de humedad de la cascarilla a una temperatura de 80°C., para después reducir su tamaño en molino de cuchillas con abertura de malla de 1 mm. El tamaño de partícula influye sobre las propiedades físicoquímicas de las fibras dietéticas.(8,14)

2.2.3.-Caracterización de las fibras

1.- *Determinación de humedad*

Método: Según AOAC (935.29)

Una vez acondicionada la cascarilla de maíz se procedió a determinar el % de humedad de las dos fibras por triplicado en termobalanza digital a una temperatura de 45°C.

2.- *Determinación del tamaño medio de partícula (MPS)*

Método: Según AACC. Número 88-04.

Las fibras fueron sometidas a cribado mediante tamices estandarizados durante 5 min. para obtener la fracción mayor (50%) retenida en la serie de tamices para cada una de las fibras y determinar el tamaño medio de partículas de las mismas.

3.- *Determinación del contenido de fibra dietética soluble, insoluble*

De acuerdo al método propuesto por Furda 1981 (14) se determinó el contenido de FDS y FDI. Las muestras fueron desgrasadas por el método de Soxhlet durante aproximadamente 4 hrs, para posteriormente extraer el agua soluble de las mismas con HCl y ajustar el pH con buffer de fosfatos para iniciar, una vez enfriada la solución y después de transcurridos 40 min la hidrólisis del almidón y la proteína al incubar las muestras durante 12 hrs con las enzimas alfa-amilasa y proteasa para así por medio de precipitación y aislamiento obtener el % de FDS y FDI.

Para poder aislar completamente la fibra del psyllium fue necesario someterla a sonicación y centrifugación según Sungsoo C.Lee y otros(1996) debido a que está fibra en solución es altamente viscosa y no es fácil la filtración.

2.2.4.-Construcción de isotermas de adsorción

Las isotermas de adsorción se determinaron a 3 temperaturas 3,20 y 37°C en un intervalo de A_w de 0.1 a 0.9. Antes de iniciar la corrida de las isotermas, las fibras se secaron hasta una humedad de 1.5% en termobalanza digital a temperatura de 45°C, posteriormente se montó el método gravimétrico estático(22,36), al exponer en los recipientes herméticos las fibras a todas las sales de A_w conocida para obtener la isoterma completa. Un gramo de muestra se colocó en los recipientes de malla de polietileno (fig. 8) que después fue colocada en el recipiente hermético que contenía las sales sobresaturadas, comenzando con $A_w= 0.11$ hasta $A_w= 0.98$. El peso absorbido por las fibras se registró a las 24 hrs. para las temperaturas de 20°C y 37°C y a las 36 hrs. para las muestras a 3°C hasta el equilibrio.

Los resultados obtenidos fueron analizados en función de su promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

Tabla 7 Soluciones sobresaturadas de sales

| SAL | Aw | | |
|--------------------------------|--------|--------|--------|
| | 3°C | 20°C | 37°C |
| Li Cl | 0.1131 | 0.1130 | 0.1129 |
| CH ₃ COOK | 0.2253 | 0.2250 | 0.2249 |
| Mg Cl ₂ | 0.3285 | 0.3280 | 0.3279 |
| Mg NO ₃ | 0.5298 | 0.5290 | 0.5289 |
| KI | 0.6901 | 0.6890 | 0.6889 |
| NaCl | 0.7542 | 0.7531 | 0.7530 |
| KCl | 0.8444 | 0.8431 | 0.8430 |
| K ₂ SO ₄ | 0.9745 | 0.9730 | 0.9729 |

Rao,1986

2.2.5.-Determinación de la humedad de monocapa

Una vez analizados los datos de las isotermas se ajustaron por medio del modelo matemático de BET para encontrar el valor de máxima estabilidad de las fibras.

$$\frac{Aw}{(1-Aw)m} = \frac{1}{m_1 C} + \frac{C-1}{m_2 C} Aw \dots \dots (A)$$

en donde:

a= actividad de agua

m= contenido de humedad (gagua/100g s.s.)

m₁ = valor de monocapa

C= constante

2.2.6.-Determinación de Qs

El calor de sorción representa la energía requerida para eliminar o absorber agua y se obtuvo al linealizar la Ecuación de Clausius Clapeyron

$$\frac{\ln Aw_1 - \ln Aw_2}{1/T_1 - 1/T_2} = -\frac{Q_s}{R} \dots \dots (B)$$

en donde:

R= constante universal de los gases

Q_s= calor de sorción (Kcal/mol)

3.-RESULTADOS Y DISCUSION

3.1.-Caracterización de las fibras dietéticas

En la tabla 8 podemos observar los resultados obtenidos de la determinación de humedad, éstos son el promedio de tres repeticiones. La humedad obtenida corresponde a alimentos de baja humedad. Es importante conocer de que humedad partimos para disminuirla hasta 1.5% y obtener la isoterma de adsorción completa.(52)

Tabla 8 Contenido humedad de las fibras

| Tipo de fibra | Humedad (%) |
|-----------------|-------------|
| Salvado de maíz | 7.1 |
| Psyllium | 5.1 |

En la tabla 9 tenemos los resultados de la determinación de tamaño medio de partícula de las fibras dietéticas como promedio de tres repeticiones. Observándose que para el psyllium el tamaño de partícula es de $737.05\mu\text{m}$ y un 24.3% de la fibra es retenida en el tamiz no. 60; mientras que la cascarilla de maíz tiene un tamaño de partícula de $809.29\mu\text{m}$ y un 43.16% de la fibra es retenida en el tamiz no. 30

Una reducción en el tamaño de partícula incrementa el área superficial y la cantidad total de agua que la fibra puede ligar.(8)

Por lo que se espera que en el psyllium por tener un menor tamaño de partícula se incremente su área superficial y por tanto aumente su capacidad de adsorción de agua con respecto a la cascarilla de maíz.

Tabla 9 Tamaño medio de partícula de las fibras

| % Acumulado en cada tamiz | | | | | | | | |
|---------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|
| No tamiz | 10 | 20 | 30 | 40 | 60 | 80 | 100 | MPS (μm) |
| Abertura (mm) | 1.68 | 0.84 | 0.59 | 0.42 | 0.250 | 0.177 | 0.149 | |
| <i>Psyllium</i> | 0 | 0 | 0 | 3.86 | 24.3 | 13.46 | 21.9 | 737.05 |
| <i>Cascarilla de maíz</i> | 0 | 19.43 | 43.16 | 18.13 | 10.90 | 2.83 | 1.6 | 809.29 |

En la tabla 10 podemos observar los resultados obtenidos de la determinación de FDS, FDI y FDT, estos son el promedio de tres repeticiones. El contenido de FDS es de 85% para el psyllium y de 1.055% para la cascarilla de maíz; mientras que el contenido de FDI es de 53.19% para la cascarilla de maíz y de 0.855% para el psyllium, lo que era de esperarse debido a la naturaleza de las fibras, ya que como se analizó en los antecedentes el psyllium está constituido principalmente de polisacáridos solubles tales como mucilagos y pectina, mientras que la cascarilla de maíz está constituida por polisacáridos insolubles tales como hemicelulosa, celulosa y lignina, (14, 21, 45, 49)

Tabla 10 Contenido de FDI, FDS y FDT de dos fuentes de fibra

| Fuente de fibra | Contenido de fibra (%) | | |
|-----------------|------------------------|-------|--------|
| | FDS | FDI | FDT |
| Salvado de maíz | 1.055 | 53.19 | 54.245 |
| Psyllium | 85 | 0.855 | 85.855 |

3.2.-Isotermas de adsorción

En las figuras 9 y 10 se muestra el comportamiento de adsorción de agua de las dos fuentes de fibra analizadas, los datos graficados son el promedio de tres repeticiones, efectuándose un análisis de varianza y coeficiente de variación.

El tipo de isoterma obtenida es del tipo III tal y como lo describe Labuza 1968, las diferencias entre ambas isotermas son en cuanto a la velocidad con la que se absorbe agua, observándose que las propiedades de adsorción de agua a bajos e intermedios niveles de actividad de agua fueron muy similares para ambas fibras, aunque el psyllium fue capaz de absorber más agua a niveles altos de Aw de la isoterma.

También tenemos que en ambas isotermas se pueden distinguir las tres regiones de la isoterma; la primera que se encuentra en intervalos menores a 0.2% aw. ó región de monocapa; otra intermedia o región de multicapa donde los niveles de a.w. van de 0.2 a 0.7%; y la 3er región considerada como región de agua condensada donde los niveles de aw son mayores a 0.7% (11,19,30)

Debido a la influencia de la temperatura podemos observar a una misma actividad de agua que en la cascarilla de maíz se disminuye la cantidad de agua adsorbida conforme aumenta la temperatura de 20°C a 37 °C° como consecuencia de la movilidad de las moléculas de agua, que ocasionan que el alimento pierda higroscopicidad, mientras que en el psyllium no se observa una disminución en la cantidad de agua absorbida a las tres temperaturas de estudio dada la composición de la misma cuyos componentes se solubilizaron y se volvieron más higroscópicos.

La mayoría de los alimentos comienzan a perder higroscopicidad cuando aumenta la temperatura. (19,22)

Por otra parte el método utilizado para la medición de la absorción de agua exige manipulaciones de las muestras para el control de la humedad ganada lo que obliga a tener fluctuaciones de temperatura, factor que deberá tomarse en cuenta en la evaluación de las isotermas obtenidas (36)

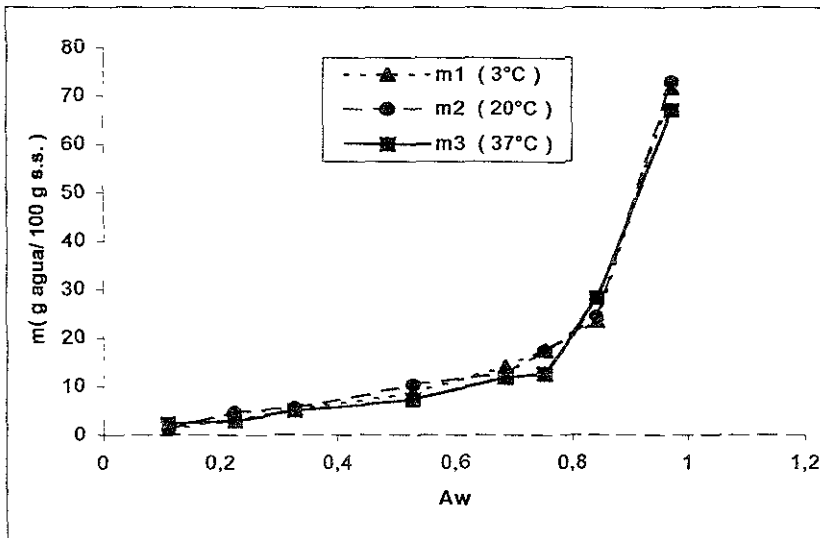


Figura 9 Isotermas de adsorción del psyllium

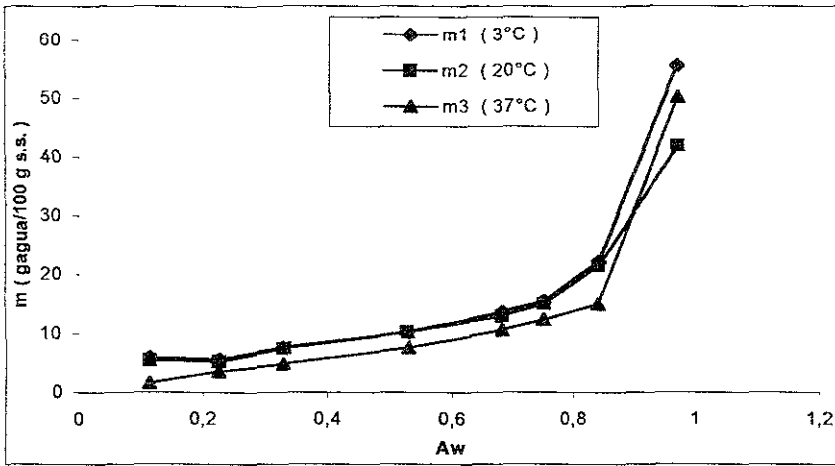


Figura 10 Isotermas de adsorción de la cascarilla de maíz

3.3.-Humedad de monocapa

Para cumplir con el objetivo particular 2 las isotermas obtenidas se ajustaron mediante el modelo matemático de BET para obtener la humedad de monocapa e inferir sobre la estabilidad de las fibras.

El valor de monocapa considera que la máxima estabilidad de los alimentos durante su almacenamiento, se tiene cuando la molécula de agua se encuentra fuertemente unida sobre una superficie homogénea, evitando así quede libre para reaccionar con otros sitios activos. (Karel, 1975)

El valor de monocapa representa las condiciones de estabilidad de los alimentos como función de la expansión de moléculas de agua debido a la temperatura, así

como la reducción en el número total de sitios activos para el agua, como resultado de los cambios físicos y químicos inducidos por la temperatura.(25,33,34,49,50)

En la tabla 11 se resumen los valores de monocapa obtenidos para cada una de las fibras, mediante el ajuste del modelo matemático de BET. Observándose que el psyllium presenta el valor mayor de monocapa y que no disminuye conforme aumenta la temperatura ya que debido a su composición y su afinidad por el agua forma geles (45) que son función de la temperatura y que varían el comportamiento de adsorción de agua,(durante la experimentación la muestra mostró incremento y disminución de viscosidad a las diferentes temperaturas evaluadas) impidiéndonos por tanto conocer la verdadera estabilidad de ésta fibra; por otro lado la cascarilla de maíz presenta valores de monocapa menores que se comportan de manera similar a las tres temperaturas, considerándose que no existe diferencia significativa entre las temperaturas evaluadas y que ésta fibra tiene su máxima estabilidad en un intervalo amplio de temperaturas.

Durante los procesos de sorción la incorporación de moléculas de agua en la matriz de ciertos productos puede promover la hidratación hasta formar soluciones y/o geles dependiendo del tipo y composición del producto.(36)

Tal y como se analizó en los antecedentes la cantidad máxima de agua que pueden absorber las fibras es función de la fuente, tipo de fibra y método de determinación. (14,21,52)

Así mismo la máxima cantidad de agua absorbida de un alimento depende de numerosos factores tales como composición química, estado fisicoquímico de los componentes y estructura física (36)

Tabla 11 Valor de monocapa para cada FD a tres temperaturas

| Tipo de fibra | Temperatura (°C) | | |
|--------------------|--------------------|------|------|
| | 3 | 20 | 37 |
| Psyllium | 5.98 | 8.31 | 3.91 |
| Cascarilla de maíz | 4.81 | 4.87 | 4.57 |

3.4.-Calor de sorción

Una vez que se determinó el valor de máxima estabilidad para ambas fibras, se efectuó el cálculo del calor de sorción para cada una de las fibras mediante la linealización de la ecuación de Clausius Clapeyron.

El valor máximo de Q_s se encuentra cercano a valores de monocapa tal y como lo describe Chang, 1992 ya que es cuando se requiere de mayor energía para tener una interacción fuerte agua-sólido, como consecuencia de un % de humedad bajo (7,10,30)

Las diferencias entre los calores de sorción obtenidos de cada fibra están en función de la cantidad absorbida en zonas de baja y alta humedad. En la tabla 12 podemos observar que en valores de baja humedad el psyllium requiere de menos energía con respecto a la cascarilla de maíz para asociarse con el agua; dada su excelente capacidad de hidratación, mientras que a valores altos de humedad no se observa una disminución del calor de sorción del psyllium con respecto a la cascarilla de maíz ya que requiere de mayor energía para la interacción agua-polímero

Tabla 12 Calores de sorción de dos tipos de fibras dietéticas

| Calor de sorción de psyllium y cascarilla de maíz | | |
|---|-----------------------------|------------------------------------|
| % humedad | Qs psyllium (kcal/mol) | Qs cascarilla maíz (kcal/mol) |
| 3 | 1.3533 | 5.568 |
| 5 | 1.3377 | 4.191 |
| 10 | 0.8841 | 0.5092 |
| 15 | 0.8090 | 0.2442 |

En las figuras 11 y 12 es posible observar para ambas fibras que el máximo valor de calor de sorción se encuentra cercano a la monocapa y disminuye conforme se incrementa el contenido de humedad. (10,30)

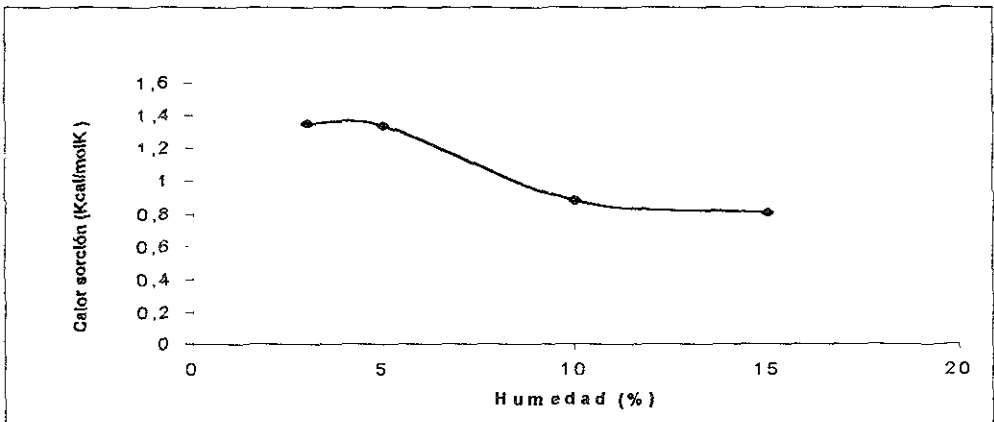


Figura 11 Calor de adsorción del psyllium

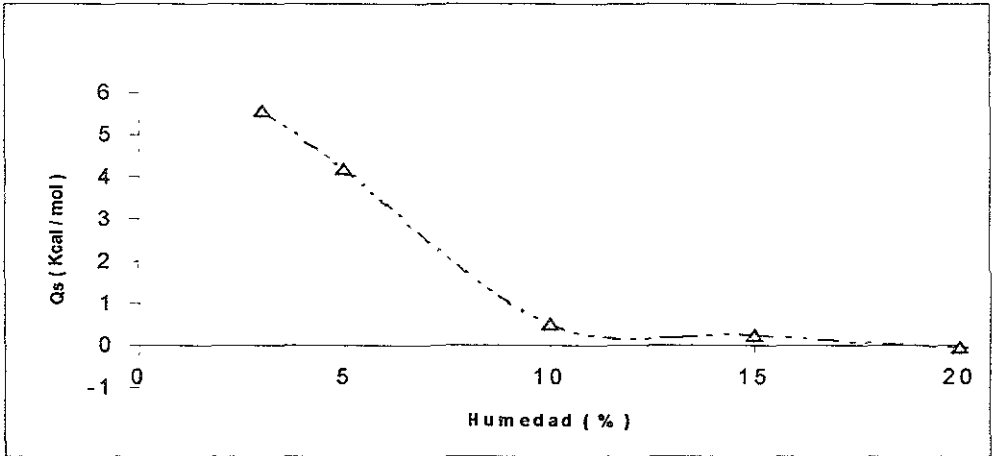


Figura 12 Calor de adsorción de la cascarilla de maíz

Por otro lado el calor de sorción de las fibras es posible relacionarlo con la funcionalidad de las fibras; ya que entre menor sea este, mayor será la capacidad de absorber agua lo que repercute directamente sobre la función terapéutica de las mismas. (70,50,51) En la figura 13 podemos observar que el psyllium requerirá de menor energía para absorber agua con respecto a la cascarilla de maíz lo que la hace más específica para funciones fisiológicas tales como aumentar la viscosidad del bolo alimenticio para el tratamiento de enfermedades como la obesidad y cardiovasculares con un gasto menor de energía, en cambio la cascarilla de maíz requiere de mayor energía para absorber agua por lo que sólo hará aumentar el volumen del bolo alimenticio, disminuyendo el tiempo de tránsito intestinal.(7,14,21,31,47,50,51,52)

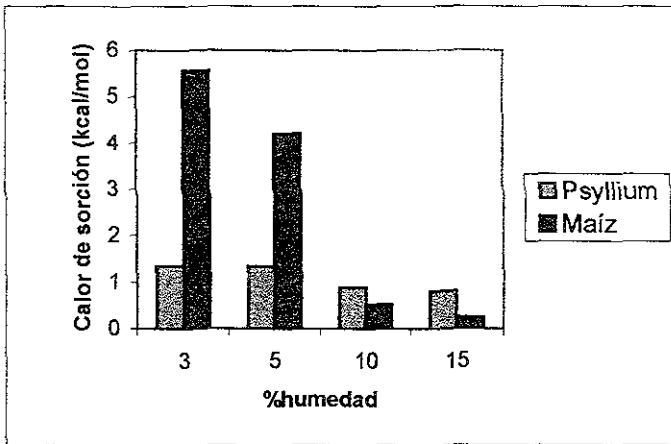


Figura 13 Calor de sorción de dos fibras dietéticas

4.-CONCLUSIONES

1.-El contenido de humedad inicial de las fibras encontrado corresponde a valores de 7.1% para la cascarilla de maíz y de 5.1% para el psyllium por lo que estos alimentos son de humedad baja

2.-El valor de tamaño medio de partícula obtenido para el psyllium y la cascarilla de maíz corresponde a valores de 737.05 μ m y 809.29 μ m respectivamente.

3.-En cuanto a la determinación de fibra dietética los valores obtenidos corresponden a 53.19% FDI para la cascarilla de maíz y 0.855% para el psyllium, y de 85% FDS para el psyllium y 1.055% para la cascarilla de maíz, tal comportamiento corresponde al reportado por algunos autores en cuanto a la determinación del contenido de fibra de algunos alimentos. (45, 49, 50, 52)

4.-Con respecto a las isotermas de adsorción que se obtuvieron se concluye que el tipo de isoterma para cada una de las fibras es del tipo III tal y como lo describe Labuza 1968.

5.-Así mismo es posible identificar las tres regiones de la isoterma; región de monocapa menor a 0.2%; región multicapa 0.2 a 0.7% Aw; región agua condensada mayor a 0.7% .

6.-El psyllium presenta una mayor capacidad de adsorción de agua en niveles altos de Aw con respecto a la cascarilla de maíz con un valor máximo de aproximadamente 75 g agua/100 g s.s (Fig. 9) .

7.-La máxima estabilidad en almacenamiento para el psyllium se tiene con un valor de monocapa de 5.98 g agua por g s.s. mientras que para la cascarilla de maíz con un valor de 4.81 g agua por g s.s., siendo menor en este caso debido a la composición, naturaleza y tamaño de partícula de las fibras; ya que el psyllium debido a que está compuesto principalmente de polisacáridos solubles y tiene un menor tamaño de partícula de $7373.05\mu\text{m}$ es capaz de absorber más agua con respecto a la cascarilla de maíz compuesto principalmente de hemicelulosa y lignina y tiene un tamaño de partícula de $809.29\mu\text{m}$ por lo que se reduce su capacidad de adsorción de agua.

8.-El valor de monocapa de la cascarilla de maíz fue casi constante en el intervalo de temperaturas de estudio, por lo que esta fibra será más estable en el almacenamiento con respecto al psyllium, así como la adsorción de agua durante el consumo de esta fibra no se verá modificado, razón por la cual se emplea para aumentar el volumen de las heces fecales.(52)

9.-El valor máximo de calor de calor de sorción de las dos fibras se encontró en una humedad de 3% con valores de 1.3533 Kcal/mol K para el psyllium y de 5.568 Kcal/mol K para la cascarilla de maíz.

10.-El psyllium tiene una mayor capacidad de absorber agua por presentar valores bajos de Q_s por lo que su funcionalidad está más orientada al tratamiento de enfermedades cardiovasculares, del colon y de obesidad, así como para dar funcionalidad de espesamiento y viscosidad en alimentos

11.-La cascarilla de maíz tiene una menor capacidad de absorber agua por presentar valores altos de Q_s por lo que es eficaz para disminuir el tiempo de tránsito intestinal, y en alimentos para la incorporación en alimentos a base de cereales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- AACC. (1984) Approved Methods of the AACC American Association of Cereal Chemists. St. Paul MN.
- 2.- www.aqualab.com.mx México 2001
- 3.- AOAC. (1990) Official Methods of Analysis. 16th. Edición. Association of Official Analytical Chemistry Inc. Arlington Washington D.C.
- 4.- Badui, Dergal Salvador (1993) Química de los Alimentos. Editorial Alhambra México. 430 p.p.
- 5.- Bettelheim, F.A., Sterling et al (1956) Pectic substances water. Journal of Polymer Science. Vol 22: 303-314
- 6.- Burkitt, D.P. (1982) Dietary fiber perspectives reviews and bibliography. John Libbery London. p.p. 3-40
- 7.- Cadden, M.A. (1988) Moisture sorption characteristics of several food fibers. Journal of Food Science. Vol 53 (4): 1150-1155
- 8.- Cadden, M.A. (1987) Comparative effects of particle size reduction on physical structure and water binding properties of several plant fibers. Journal of Food Science. Vol 52 (6): 1595-1599

- 9.- Caurie, M. (1981) A Monolayer equation for use in sorption studies. Journal of Food Science. Vol 47 : 332-333
- 10.- Chang, R. (1992). Físicoquímica con aplicaciones a sistemas biológicos. CECOSA. México. 456 p.p.
- 11.- Cheftel, Jean Claude (1992) Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los alimentos 2 volúmenes. Editorial Acribia. Zaragoza España
- 12.- Diosady, L.L. et al. (1996) Moisture sorption isotherms of canola meals, and applications to packaging. Journal of Food Science, Volumen 61 (1) : 204-207
- 13.- Dincer, T.D. , Esin, A. (1996) Sorption isotherms for macaroni. Journal of Food Engineering. Vol 27: 211-228
- 14.- Dreher, M. (1987) Handbook of dietary fiber 2 volúmenes. Marcel Dekker. Inc. NY. USA.
- 15.- Duckworth (1975) Water relations of foods. Academic Press. London. p.p. 139-154
- 16.- Eastwood, M.A. (1983) Physical properties of fiber towards bile acids, water and minerals. En: Dietary fiber. Ediciones Birch G y Parkler G. Avi Publishers. N.Y. p.p. 149-163

- 17.- Edward, C. (1990) Mechanisms of action on dietary fiber on small intestinal absorption and motility. En: New developments in dietary fiber. Ediciones Furda C.J. Crine Plenum Press. N.Y. p.p. 115-135
- 18.- Fellows, Peter. (1993) Tecnología del Procesado de los Alimentos. Principios y Prácticas. Editorial Acribia. España. 549 p.p.
- 19 - Fennema, Gwen R. (1990) Química Alimentos. Editorial Dekker. New York 991 p.p.
- 20.- Furda, I. , Brine, C.J. (1990) New developments in dietary fiber. Plenum Press, N.Y.
- 21.- Gordon, T. Dennis (1989) Functional properties v.s. physiological action of total dietary fiber . Cereal Foods World. Vol 34 (7): 517-518
- 22.- Iglesias, H.A. , Chirife, J. (1987) Handbook of food isotherms, water sorption parameters for food and food components. Academic Press, New York London. 347 p.p.
- 23.- Jamieson, Michael (1975) Actividad acuosa y temperatura de los productos almacenados, Jamieson M.F.S, Coveneney, R.D. , En: Manejo de los Alimentos: Ecología del Almacenamiento. Editorial Pax. México. p.p. 125-149
- 24.- Jayaprakasha, M.H., Rao, J.K (1997) Studies on the influence of water activity (A_w) on the stability of foods. Journal Food Science Technology. Vol. 34 (4) p.p. 273-285

- 25.- Karel, M. (1975) Water activity and food preservation Principles of food science part II: Physical principles of food preservation, Karel M., Fennema, O.R. and Lund, D.B. Edited by Marcel Dekker. p.p. 237-263
- 26.- Kent, N.L. (1987) Tecnología de los cereales. Editorial Acribia España. 221 p.p.
- 27.- Kimura, K.K. (1977) The nutritional significance of dietary fiber. Bureau of Foods. FDA, Washington, D.C. p.p. 8-9
- 28.- Labuza, T.P. ; Kaanane, A. and Chen, J Y (1985) Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. Journal of Food Science. Vol 50: 385-391
- 29 .- Labuza, T.P. (1980) The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration . Food Technology. p.p.36-41
- 30.- Labuza, T.P. (1968) Sorption phenomena in foods. Food Technology. Vol 22: 18-24
- 31.- Leeds, A.R. (1995) Psyllium a superior source of soluble dietary fiber. Supplement to Food Australia (47) 2 S1-S4
- 32.- Less, A. Kent, M., Christie, R.H., (1989) The effect of pre drying temperature on the sorption properties of microcrystalline cellulose at temperatures up to 90°C. International Journal of Food Science and Technology, Volumen 24: 163

Referencias Bibliográficas

- 33.- M.A. Rao and Rizvi S.S.H (1986) Engineering properties of Foods. Marcel Dekker, Inc. USA .398 p.p.
- 34.- Rizvi, S.S.H. and Benado, A.L. (1984) Thermodynamic properties of dehydrated foods. Food Technology. p.p. 83-92
- 35.- Rockland, L.B. and Nishi, K. Susan (1980) Influence of water activity on food product quality and stability. Food Technology. p.p. 42-48
- 36.- Rockland, Louis B. (1987) Water activity theory and applications to food. Marcel Dekker. 404 p.p.
- 37.- Salazar, C. E. ; Hernández, U. H. ; Oliver, S. Ma. y Zambrano, Z. Ma. (1994) Evaluación de parámetros termodinámicos en productos biológicos. Información Tecnológica IPN . Vol 5 (1) p.p.57-62
- 38.- Sosulski, W.F. and Cadden, M.A. (1982) . Composition and physiological properties of several sources of dietary fiber. Journal of Food Science. Vol 47:1472-1477
- 39.- Sungsoo, C.L. (1995) Determination of soluble and insoluble dietary fiber in psyllium-containing cereal products. Journal of AOAC International. 78 (3).724-729
- 40.- Scott, V.N and Bernard, D.T. (1983) Influence of temperature on the measurement of water activity of food and salt systems. Journal of Food Science. Vol 48: 552-554

- 41.- Stamp, J.A. , S. Linscott, C. Lamauro, and T.P. Labuza. (1984) Measurement of water activity of salt solutions and foods by several electronic methods as compared to direct vapor pressure measurement. *Journal of Food science*. Vol 49.1139-1142
- 42.- Salvedran, R.R. (1984). The plant cell as a source of dietary fiber, chemistry and structure. *Am. J. Clin. Nutr.* Vol 39 (4):320-336
- 43.- Tellez, P. (1989) Médula de bagazo de caña como fuente de fibra dietética en la tortilla de maíz. Tesis para obtener el título de Ingeniero en alimentos UNAM FES C. p.p.6-13
- 44.- Troller, J.A. Christian. J.H.B. (1978) *Water activity and food*. Academic Press. London. 235 p.p.
- 45.- www.urvesh.com.mx. Urvesh psyllium industries Ltd. 2001
- 46.- Van den Berg, C.; De Jong Gerard I.W. ; Kokelaar, J.A. (1996) Water vapour sorption behaviour of original and defatted wheat gluten . *International Journal of Food Science*. Vol 31:519-526
- 47.- Vargas, J. Fibras y antioxidantes (1995) *Alimentos Procesados*. México. p.p. 24-28
- 48.- Wolf W., Spies W.E.L., and Jung G. (1985) Sorption isotherms and water activity of food materials. Elsevier Science Publishing Co Inc. New York . p.p.1-5

49.- Zambrano Zaragoza Ma de la Luz, Gallardo Navarro Yoja. (1994)
Caracterización físicoquímica de cascarilla de maíz. Congreso CYTED-10 años

50.- Zambrano, Gallardo. (1995) Comparación de propiedades físicoquímicas de
fuentes de fibra. Congreso CYTED 10 años

51.- Zambrano, Ma de la Luz, Hernández, Hernández Alma Delia, Gallardo,
Navarro Yoja. (1998) . Caracterización físicoquímica del nopal. Volumen 2. Fibra
Dietética IPN. p.p. 29-41

52.- Zambrano, Z. Ma de la Luz. (1996) Caracterización físicoquímica de un
extruído rico en fibra elaborado usando avena como base. Tesis para obtener el
grado de maestra en ciencias especialidad alimentos IPN. p.p. 10-17; 29-32

NOMENCLATURA

| | |
|--|------------|
| Actividad de agua(%) | Aw |
| Fibra dietética(%) | FD |
| Fibra dietética soluble(%) | FDS |
| Fibra dietética insoluble(%) | FDI |
| Fibra dietética total(%) | FDT |
| Capacidad de absorción de agua (gagua/g.s.s.) | WBC |
| Capacidad de retención de agua(gagua/g.s.s.) | CRA |
| Capacidad de absorción de agua(gagua/g.s.s.) | CAA |
| Capacidad de adsorción de agua(gagua/g.s.s.) | CDA |
| Humedad relativa de equilibrio(%) | HRE |
| Humedad relativa(%) | HR |
| Temperatura(K) | T |
| Humedad de monocapa(gagau/gss.s.) | Mo |
| Calor de sorción(Kcal/mol K) | Qs |
| Energía libre de Gibbs (Kcal/molK) | ΔG |
| Entalpía(Kcal/molK) | ΔH |
| Entropía(Kcal/molK) | ΔS |